

**VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra měřicí a řídicí techniky**

**Snímání hodnot a CNC řízení pohybu obráběcího nástroje
Sensing and CNC Control of Mill Tool**

2011

Robin Bojko

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Bohumilu Horákovi Ph.D. za pomoc a odborné konzultace v průběhu tvorby této práce. Dále bych rád poděkoval Ing. Davidu Valovi a Ing. Karlu Musilovi za konzultace a pomoc při řešení problémů s návrhem a oživováním vyrobených desek plošných spojů.

PROHLÁŠENÍ STUDENTA

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou/diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Datum:

Podpis:.....

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce je zaměřena na problematiku CNC řízení pohybu obráběcího nástroje, kterého se v dnešní době dosahuje řízením pomocí počítače, v němž je uložena daná předloha požadovaného výrobku. Předloha je poskytována vhodnému řídicímu programu, jenž je schopen pomocí komunikačního rozhraní řídit pohyb obráběcího nástroje CNC stroje, a tak vytvářet sériově stejné výrobky. Z celého procesu obrábění je téměř úplně eliminován vliv člověka. Programátor má na začátku pouze za úkol vytvořit předlohu, nastavit a seřadit řídicí program. O samotnou výrobu se poté již stará počítač.

Tato práce se zabývá oživením již vyrobené CNC frézy, jenž k pohybu obráběcího nástroje využívá krokových motorů a profesionálního řídicího programu StepFour. Dalším cílem této bakalářské práce je zprovoznit mechanickou konstrukci 3D stolu pro laserové obrábění poskytnutou firmou Slavík-Technické plasty s.r.o., používající k posuvu obráběcího nástroje stejnosměrné motory.

ABSTRACT

This bachelor's thesis is focused on issues of CNC motion control cutting instrument, which is achieved today controlling by computer, in which is stored template of required product. Template is given to suitable control program, which can control, by communication interface, motion of cutting instruments of CNC machine, and make serially similar products. From the entire machining process is almost completely eliminated human influence. The programmer is only on the beginning of the task and he has to create a template, setup and adjust the control program. The production itself is then already controlled by computer.

This work deals with the revival already madden CNC milling machine, which for the movement of the cutting tool uses stepper motors and a professional control program StepFour. Another objective of this thesis is to establish 3D mechanical design table for laser cutting provided by Slavík-Technické plasty Ltd. using for the motion of machine instruments DC motors.

KLÍČOVÁ SLOVA

CNC fréza; frézovací vřeteno; krokový motor; PC, mikrokontrolér; ATMEL; osy X, Y, Z; snímače koncové polohy; LPT port; trapézový šroub; frézovací software; budiče motorů; unipolární a bipolární řízení; PWM modulace;

KEYWORDS

CNC milling machine; milling spindle; stepper motor; computer; microcontroller; Atmel; axe X, Y, Z; end position sensor; LPT port; trapezoidal screw; milling software; motor drivers; unipolar and bipolar control; PWM modulation;

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

DC	- Označení stejnosměrného proudu nebo napětí
PWM	- Pulzně šířková modulace
M	- Střída PWM modulace
UART	- Synchronní nebo asynchronní sériové rozhraní
CNC	- Číslicové řízení strojů pomocí počítače
NC	- Číslicové čízení
PC	- Osobní počítač
LPT	- Paralelní port
LED	- Dioda emitující světlo
CO ₂	- Oxid uhličitý
ŘS	- Řídící systém
DOS	- Diskový operační systém
DXF	- CAD formát vyvinutý firmou Autodesk
HPGL	- Vektorový grafický formát
BMP	- Počítačový formát pro ukládání rastrové grafiky
JPG	- Počítačový formát používaný k ukládání fotografií a obrázků
CAM	- (CAM processor) Převaděč návrhů provedených v programu EAGLE do jiných formátů
IO	- Označení bloku vstupů a výstupů
TTL	- Tranzistorově-tranzistorová logika
GND	- Označení nulového potenciálu
PLC	- Programovatelný logický automat
INT0	- Vstup externího přerušení mikrokontrolerů AVR
INT1	- Vstup externího přerušení mikrokontrolerů AVR
ASCII	- Kódová tabulka definující znaky anglické abecedy
DPS	- Deska plošných spojů
RC	- Ve smyslu (RC člen) je spojení rezistoru a kondenzátoru
ISP	- Programovací rozhraní mikrokontrolérů
I2C	- Multi-másterová počítačová sériová sběrnice
MOSFET	- Polem řízený tranzistor
Gate	- Řídící elektroda unipolárního tranzistoru
Source	- Elektroda unipolárního tranzistoru
Drain	- Elektroda unipolárního tranzistoru
AVR	- Programovací prostředí k vývoji programů pro mikrokontroléry firmy ATMEL
C	- Označení jazyka použitého k vývoji programů pro mikrokontroléry
USB	- Komunikační rozhraní používané u osobních počítačů
SMD	- Součástka určená pro povrchovou montáž
.HEX	- Formát souborů pro nahrávání dat do paměti mikrokontrolérů
VOID	- Typ metody v programovacím jazyku C

DDRx	- Označení registrů mikrokotrolerů ATmegaXX
UDR	- Označení registru mikrokotrolerů ATmegaXX
Pull-up	- Rezistory definující stav nezapojeného vstupu nebo výstupu
PID	- Regulace založená na proporcionální, derivační a integrační složce
PSD	- PID regulace převedená do číslicové podoby (použitelná počítači)
V-USB	- Programová implementace rozhraní USB určená pro mikrokontroléry AVR
G-kód	- Název programovacího jazyka k řízení NC a CNC strojů
.NET	- Soubor technologií v softwarových produktech tvořící celou platformu pro různá prostředí (Web, Windows, Pocket PC)

OBSAH

1	Úvod.....	1
2	Teorie	2
2.1	Elektrické pohony a jejich řízení	2
2.1.1	Krokový motor.....	2
2.1.2	Principy řízení krokových motorů	3
2.1.3	Stejnoseměrný motor	4
2.1.4	Principy řízení stejnosměrných motorů	6
2.2	Snímače polohy a otáček	7
2.3	Laser.....	9
2.4	CNC řízení	10
2.4.1	Historie a současnost CNC řízení	10
2.4.2	Nulové body a další vztažné body	10
2.4.3	Souřadnicový systém stroje	11
2.4.4	Software pro CNC	11
2.4.5	Mechanická stránka CNC frézy	13
2.5	Komunikační rozhraní – LPT port a jeho zapojení.....	14
3	Možná řešení.....	16
3.1	Počáteční stav zařízení.....	16
3.2	Výčet možných řešení.....	17
4	Vybrané řešení	21
4.1	Zvolená kritéria	21
4.2	Blokové schéma vybraného řešení	22
4.3	Popis vybraného řešení:	23
5	Technické a realizační řešení.....	24
5.1	Oživení frézovací jednotky s krokovými motory	24
5.2	Technické vlastnosti použitých DC servomotorů HSM 150	25
5.3	Popis návrhu řídicí elektroniky jednotky s DC motory	26
5.3.1	Hlavní deska – Příjem řídicích signálů z PC	26
5.3.2	Hlavní deska – Mikrokontrolér	26
5.3.3	Hlavní deska – Použitá rozhraní	27
5.3.4	Hlavní deska – Zdrojová část.....	27
5.3.5	Budiče motorů – Mikrokontrolér	27
5.3.6	Budiče motorů – Výkonová část.....	27
5.3.7	Budiče motorů – Napojení inkrementálních čidel	32
5.4	Zapojení a oživení zdrojů	32
5.5	Zapojení a oživení inkrementálních senzorů	33
5.6	Popis řešení řídicích programů pro mikrokontroléry.....	35
5.6.1	Popis prostředků použitých ve fázi programování	35
5.6.2	Popis funkce programu hlavní desky	36
5.6.3	Popis funkce programu desky budiče motoru.....	38
6	Ověření funkce a testování	40
6.1	Měření rozlišovací schopnosti inkrementálních čidel	40

6.2	Měření vlivu velikosti střídý PWM modulace na uraženou vzdálenost	41
6.3	Ověření ujetí dané vzdálenosti pracovního portálu	42
7	Závěr	44
8	Literatura.....	46
9	Seznam příloh	47

1 Úvod

Účelem bakalářské práce je oživení CNC frézy využívající k posuvu obráběcího nástroje trápézové šrouby poháněné krokovými motory. Budiče krokových motorů této frézy jsou řízeny osobním počítačem pomocí paralelního portu.

Dalším cílem této práce je sestavit řídicí elektroniku a oživit tak CNC frézovací jednotku laserového obrábění poháněnou stejnosměrnými motory, k jejichž řízení však bude použit stejný software a také rozhraní jako u předešlé frézy s krokovými motory. Je tedy nutné navrhnout a sestavit řídicí elektroniku pro stejnosměrné motory tak, aby byla schopna řídit pohyb motorů na základě řídicích signálů určených k řízení krokových motorů.

Nejprve bude v této bakalářské práci detailně teoreticky rozebrána problematika pohonů, jejich řízení, obrábění pomocí laserového paprsku, CNC řízení a mechaniky CNC fréz. Dále budou nastíněna možná řešení návrhu řídicí elektroniky pro jednotku laserového obrábění. Řešení budou nastíněna formou blokového schématu, přičemž budou vypsány použitelné varianty technického řešení jednotlivých bloků. Další kapitola práce se bude zabývat stanovením kritérií dle nichž bude vybráno jedno konkrétní řešení. Toto řešení bude detailně zpracováno teoreticky, návrhově a nakonec i konstrukčně. Předposlední kapitola se bude zabývat testováním vyrobeného systému. Na konci práce bude provedena analýza provedeného řešení, jeho zhodnocení a návrh dalšího možného postupu.

2 Teorie

V této kapitole je detailně rozebrána teoretická stránka celé práce (dle zadání, bodu č.1). Jsou zde popsány pohony a možnosti jejich řízení. Dále se tato kapitola zabývá možnostmi obrábění pomocí laserového svazku a v neposlední řadě je zde také rozebrána problematika mechaniky konstrukce a řídicích programů.

2.1 Elektrické pohony a jejich řízení

2.1.1 Krokový motor

Krokový motor je zařízení schopné přeměnit elektrickou energii na točivý moment jeho hřídele. Jeho specifickou vlastností je možnost přesného nastavení polohy hřídele. Tuto polohu si je poté motor schopný udržet. V době rozmachu digitální techniky je proto tento typ pohonu využíván čím dál častěji. Velká výhoda krokových motorů také spočívá v jejich poměrně snadném řízení. Pro dosažení určené polohy za určitý čas není potřeba žádné složité regulace, jak je tomu u stejnosměrných motorů. Popsané výhody však sebou přinášejí v jistých směrech také nevýhody. To, že je motor schopný nastavit přesnou polohu hřídele a přes vnější působící síly si tuto polohu udržet, je možné pouze díky trvalému odběru elektrické energie. Složitá konstrukce motoru a požadavky na přesnost výroby zvyšují cenu vyrobeného stroje. Důsledkem sofistikované konstrukce je vyšší hmotnost a rozměry motoru (nelze dosáhnout stejně dobrého poměru mezi podaným výkonem a velikostí motoru jako u stejnosměrných motorů).

Konstrukce krokového motoru

Na obrázku (Obr.2.1) je krokový motor s 200 kroky na otáčku (1.8 stupně na krok). Stator krokového motoru je tvořen sadou cívek. Pólové nástavce statoru jsou vroubkovány se stejnou roztečí jako je rozteč magnetů na rotoru. Toto je jedna z částí zvyšující přesnost motoru při stejném počtu cívek. Rotor je tvořen hřídelí usazenou na kuličkových ložiscích a prstencem permanentních magnetů. [6]



Obr.2.1: Konstruktivní uspořádání krokového motoru [6]

Princip funkce krokového motoru

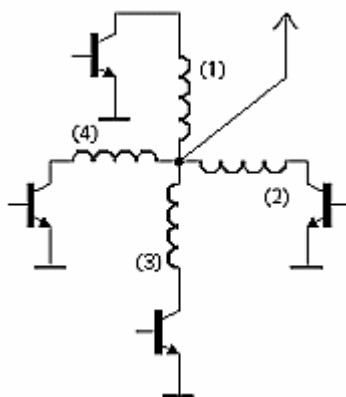
Krokový motor pro převod elektrické energie na mechanickou využívá, podobně jako motor stejnosměrný, principy elektromagnetické indukce. Proud procházející cívkou statoru vytvoří magnetické pole, které přitáhne opačný pól magnetu rotoru. [6] Točivého pohybu magnetického

pole a tak i výstupní hřídele je dosaženo správným zapojením a také vhodným spínáním jednotlivých satorových vinutí. Příliš velká rychlost spínání cívek nebo nadměrné zatížení hřídele může mít za následek ztrátu kroků. Pro krokové motory bylo vytvořeno několik možných způsobů zapojení popsaných vinutí a tím dosažení různých vlastností krokového motoru.

2.1.2 Principy řízení krokových motorů

Unipolární a bipolární řízení

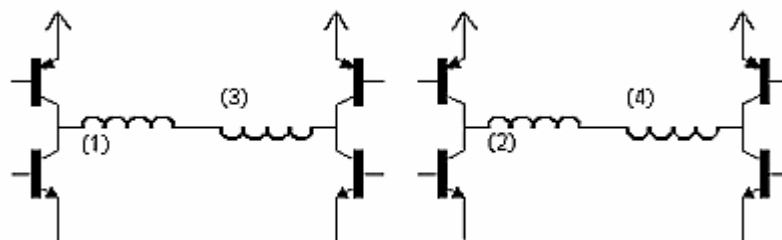
Princip unipolárního řízení spočívá v buzení vždy pouze jednoho satorového vinutí. Celá situace je naznačena na obrázku (Obr.2.2). Všechny cívky jsou zapojeny tak, že mají jeden středový uzel na něž bylo připojeno napájení. Pro spínání cívek jsou použity 4 bipolární tranzistory typu NPN, na jejich kolektory byly připojeny zbylé vývody cívek. Emitory tranzistorů jsou připojeny na nulový potenciál zdroje. Jako první je sepnut horní tranzistor a cívkou č.1 začíná procházet proud a budit tak magnetické pole. Toto magnetické pole začne přitahovat příslušné pólové nástavce umístěné na satoru a dochází k pootočení hřídele. V další fázi dochází k uzavření tranzistoru č.1 a otevření tranzistoru č.2, což vede ke generování odlišného magnetického pole a opětovnému natočení pólových nástavců a tak i výstupní hřídele. Výhodou tohoto základního zapojení je, že není zapotřebí složité řídicí elektroniky (stačí použít jeden spínací prvek pro každé satorové vinutí). Nevýhodou zapojení je malý kroutící moment.



Obr.2.2: Schéma unipolárního řízení [6]

Bipolární řízení znamená, že proud může procházet cívkami v obou směrech (dochází ke změnám polarity napětí na cívkách). Při tomto typu řízení je zapotřebí spojit vždy dvě protilehlá satorová vinutí tak, že proud, který jimi bude protékat, bude budit na těchto cívkách magnetické pole s opačnou orientací. Aby bylo možné na takto spojených cívkách měnit polaritu napětí, je třeba pro jejich spínání použít H-můstek. Celá situace je naznačena na obrázku (Obr.2.3). Spínání H-můstku je pak třeba provádět tak, aby byly v jednom okamžiku otevřeny pouze 2 tranzistory (jeden v každé větvi), a to horní tranzistor v jedné větvi a dolní tranzistor v druhé větvi nebo naopak. Při sepnutí obou tranzistorů v jedné větvi by došlo ke

zkratu a zničení zdroje nebo samotných spínacích tranzistorů. Tento způsob řízení je výhodný v tom, že motor podává vyšší krouticí moment, avšak na úkor zvýšení spotřeby. Další nevýhoda je velmi dobře patrná z obrázku. K řízení je zapotřebí příliš velké množství spínacích prvků a je třeba přesného spínání, aby nedošlo k sepnutí dvou tranzistorů v jedné větvi ve stejný okamžik.



Obr.2.3: Schéma bipolárního řízení [6]

Jednofázové a dvoufázové řízení

Jednofázové řízení znamená, že magnetické pole generuje pouze jedna cívka. Při dvoufázovém řízení generují shodně orientované magnetické pole vždy dvě sousední cívky. Daní za vyšší krouticí moment je dvojnásobná spotřeba oproti řízení jednofázovému. [6]

Řízení s plným a polovičním krokem

Řízení s plným krokem znamená, že na jednu otáčku je potřeba přesně tolik kroků, kolik zubů má stator daného motoru. [6] Je ho možné dosáhnout kteroukoliv dříve popsanou metodou. Pokud je použito dvoufázové řízení, je možné dosáhnout polovičního kroku. Řízení je poté prováděno tak, že je spínána jedna cívka (rotor se otočí), poté je sepnuta ještě vedlejší cívka a motor se tak nastaví do mezipolohy mezi dvě sepnuté cívky. V další fázi je již pouze vypnuta první cívka a rotor dokončí krok.

2.1.3 Stejnosměrný motor

Elektromotor je elektrický, obvykle točivý stroj, měnící elektrickou energii na mechanickou práci. [9] Stejnosměrný motor je motor poháněný stejnosměrným elektrickým proudem. Aby mohl vytvořit ze stejnosměrného napětí a proudu dynamicky měnící se magnetické pole, potřebuje komutátor nebo moderní elektronický měnič (BLDC motory). Komutátor je v podstatě typ rotačního přepínače umístěného na rotoru. Jsou na něj připojeny budící vinutí a doléhají na něj sběrné kartače. Při otáčení rotoru komutátor mění polaritu napětí a proudu na budících cívkách a tím vytváří točivé magnetické pole.

Konstrukce

Elektromotor je možné pomyslně rozdělit na 4 základní funkční celky:

- Elektrický obvod je soubor vzájemně propojených prvků určených k vedení a přeměně elektrické energie. Do této kategorie je možné zařadit vinutí, komutátor, izolaci vinutí, svorky motoru apod.

- Magnetický obvod je soubor prvků sloužící k vedení a přeměně vybuzeného magnetického pole na mechanickou práci. Magnetický obvod je převážně tvořen speciálními transformátorovými plechy. Tyto plechy jsou vyráběny a montovány tak, aby co nejlépe přenášely magnetické pole. Ztráty na těchto prvcích jsou způsobeny jednak jejich magnetickým odporem a také v nich mohou být indukovány vířivé proudy působící svým magnetickým polem proti přenášenému poli. Proto jsou v této fázi výroby zavedeny speciální postupy a použity speciální materiály k minimalizaci výše popsaných ztrát.
- Mechanická konstrukce motoru se konstrukčně skládá ze statoru a rotoru. Stator je pevná část motoru na níž se nacházejí permanentní magnety nebo statorová vinutí. Jsou zde umístěny přívodní svorky, chladicí žebrování, sběrací kartáče komutátoru apod. Rotor je pohyblivá část celého stroje, na které bývá převážně umístěno rotorové vinutí, komutátor (nebo klec u asynchronních motorů). Výstupem rotoru je hřídel, na níž se připojuje poháněné ústrojí. Mechanická konstrukce motoru musí být provedena s náležitou přesností, aby při chodu nevznikaly mechanické vibrace nebo kmitání.
- Chlazení zajišťuje odvod tepla, které vzniká ohmickými ztrátami ve vinutí, ztrátami vířivými proudy v magnetickém obvodu a případně také mechanickými ztrátami v ložiscích.[9] Nesprávný odvod tepla z budících vinutí by mohl mít za následek narušení jejich smaltové izolace.

Komutátorový motor buzený magnety

Tento typ motoru je stále hojně používán hlavně v aplikacích, kde není potřeba velkých výkonů. Jedná se o spíše menší motory využívané v modelářství a hračkářském průmyslu. Jak již z názvu vyplývá, stator je tvořen magnety, na rotoru jsou umístěna rotorová vinutí připojená na komutátor měnící magnetické pole indukované cívkami, a to díky změně orientace proudu procházejícího cívkami. Kontrakce magnetických polí rotorové cívky a statorových magnetů uvádějí rotor do pohybu a vytváří tak krouťící moment. Velkou výhodou motoru je jeho jednoduchost po konstrukční stránce, dále jeho nízká pořizovací cena a také poměrně snadné řízení směru otáčení. Kotva i komutátor jsou pak rozděleny na více než jen dvě části, aby nezvnikaly problémy s mrtvým úhlem (poloha hřídele je taková že kartáčky dosedají na komutátor přesně v mezeře mezi kontaktními plochami). K řízení otáček se využívá změna budícího napětí (postupná změna nebo řízení střidy při PWM modulaci). Je zde však také jedna podstatná nevýhoda daná samotnou konstrukcí a to je komutátor. Při otáčení na něm může docházet k jiskření a tak vzniku rušení a napěťových špiček. Další nevýhodou komutátoru je opotřebovávání kontaktních ploch a sběracích kartáčků, které je nutné po opotřebení vyměnit.

Komutátorový stroj cize buzený

Tento typ motoru je velice podobný předešlému, avšak s tím rozdílem, že místo permanentních magnetů umístěných ve statoru jsou zde umístěna statorová vinutí. Statorové i rotorové vinutí musí být napájeno zvlášť. Na statoru se používá statické magnetické pole (jako u komutátorového stroje buzeného magnety). Proud do rotorového vinutí je veden přes

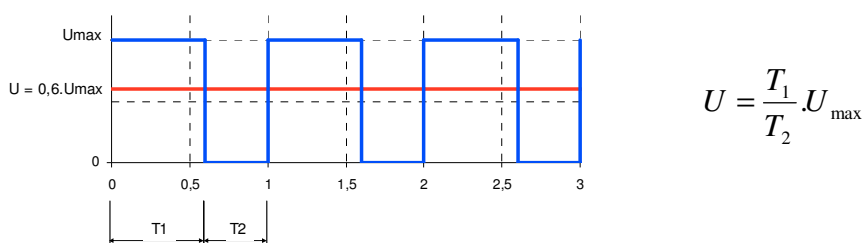
komutátor.[10] Změny směru otáčení je možné dosáhnout změnou polarity napájení rotorové části motoru.

2.1.4 Principy řízení stejnosměrných motorů

Pulsně šířková modulace

Otáčky DC motoru jsou úměrné napájecímu napětí a zatížení. Rychlost tedy můžeme řídit změnou napětí. [10] U výkonnějších typů motorů, spotřebovávajících při své funkci větší množství proudu, nelze použít běžnou lineární regulaci napájecího napětí, např. pomocí bipolárního tranzistoru. Na regulačním prvku by totiž vznikl velký úbytek napětí a při vyšších protékajících proudech by to znamenalo poměrně vysoký ztrátový výkon. Lineární regulace napětí je tedy u větších motorů velmi neefektivní způsob řízení otáček.

Daleko efektivnější u výkonnějších typů pohonů je tzv. Pulsně šířková modulace (PWM – Pulse Width Modulation). Ta spočívá v poměrně rychlém spínání a vypínání budícího napětí na motoru. Díky setrvačnosti motoru a dostatečně vysoké frekvenci spínání rotor nestačí tyto změny sledovat. Motor se chová, jako kdyby byl napájen napětím o velikosti střední (průměrné) hodnoty, která je dána poměrem doby zapnutí a vypnutí. [10] Celá situace je velmi dobře patrná z obrázku (Obr.2.4). Na svorky motoru je přiváděno pulsní napětí, jehož střední hodnotu lze vypočítat ze vzorce uvedeného vedle obrázku.

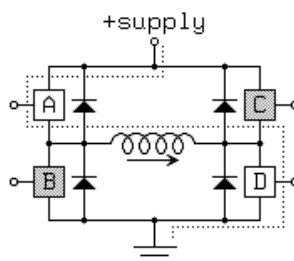


Obr.2.4: Příklad výstupního signálu po PWM modulaci [10]

Řízení směru otáček

Řízení směru otáček se realizuje změnou polarity napájení zapojením nazývaným H-můstek. Řídící elektronika musí zajistit, aby nikdy nenastalo současné sepnutí obou spínačů na levé nebo pravé straně. [10] H-můstek je tvořen zapojením 4 spínacích prvků. Běh motoru jedním nebo druhým směrem se provádí sepnutím spínačů A,D nebo spínačů B,C. Navíc je zde velmi jednoduchým způsobem možné zavést řízení rychlosti otáčení pomocí PWM modulace. Modulovaný signál je poté přiveden na řídicí vstup jednoho ze spínačů právě aktivní dvojice. Pokud je nutné převést motor do režimu brzdění jsou spínány dvojice spínačů A,C nebo B,D.

Stejně jako u řízení otáček je teoreticky možné řídit také sílu brždění pomocí PWM modulace na jednom z dvojice spínacích prvků. Zapojení H-můstku a připojení motoru na jeho výstupní svorky je patrné z obrázku (Obr.2.5).

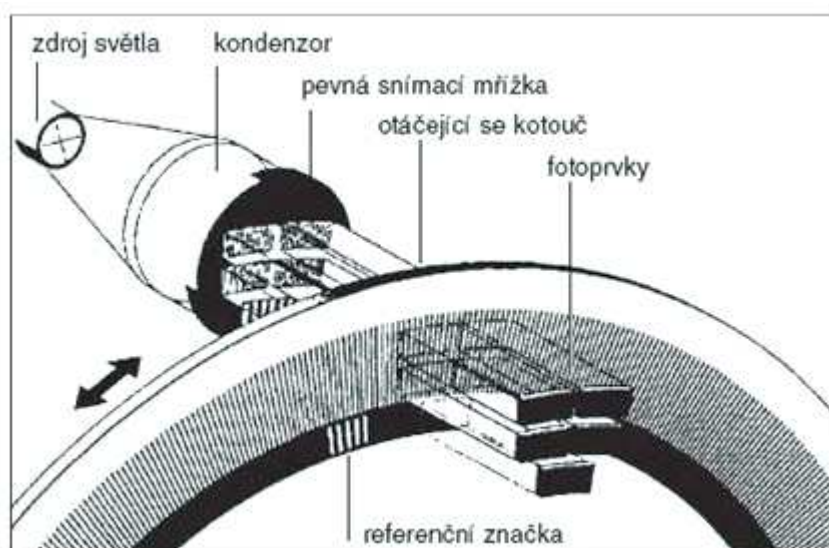


Obr.2.5: Schéma zapojení H-můstku [10]

2.2 Snímače polohy a otáček

Inkrementální snímače polohy se typicky používají ve zpětnovazebních systémech řízení polohy a rychlosti rotačního pohybu v nejrůznějších aplikacích od periférií počítačů, přes průmyslovou robotiku až po zdravotnickou techniku. Jsou charakteristické svou velkou rozlišovací schopností, malými rozměry a malou hmotností.[11]

Popisované inkrementální sensory sestávají z tří hlavních částí: otočného optického disku, zdroje záření a fotocitlivého prvku detekujícího přítomnost záření nebo zatažení jeho snímací plochy (převážně fototranzistory). Optický disk je obvykle připojen na výstupní hřídel snímače. Tato hřídel je poté připojena na motor nebo ústrojí, jehož otáčky nebo polohu je třeba snímat. Popsaný optický disk má na sobě vytvořenu mřížku, jíž záření prochází a dále dopadá na snímací plošku fotodetektoru. Podobné mřížky na sobě mají umístěny také zdroje záření (nejběžnější je infračervená LED dioda). Prosvěcováním pohyblivého kotouče na fotodetektorech vzniká signál obdelníkového tvaru (střídají se stavy osvětlení a zatínění snímací plošky). Při použití fotorezistorů jako snímacího prvku může mít výstupní signál kvazi-sinusový průběh (osvětlení plochy snímače se zvyšuje i snižuje postupně a fotorezistory také nejsou schopny odpovídat na změnu osvětlení skokově, a proto se jejich odpor postupně snižuje a zvyšuje). Díky tomu, že jsou statické mřížky umístěné na zdrojích vzájemně posunuty tak, že výsledné výstupní signály jsou mezi sebou o čtvrt periody posunuty, je možné rozlišit směr otáčení vstupní hřídele. Výstupem inkrementálního senzoru mohou být signály generované výstupy jednotlivých fotodetektorů. Ve většině vyráběných snímačů je již však dnes zabudována elektronika vyhodnocující stavy fotodetektorů a generující na jejich základě dva obdelníkové průběhy opět vzájemně posunuté o čtvrtinu periody kvůli možnosti rozlišení směru otáčení. Princip funkce inkrementálního senzoru otáček je velice dobře pochopitelný z obrázku (Obr.2.6).



Obr.2.6: Snímání polohy metodou prosvětlování [11]

Jak je patrné z obrázku je zde ještě jeden důležitý prvek, který zatím nebyl zmíněn. Popisovaným prvkem je referenční značka udávající výchozí polohu snímače. Referenční značka se využívá zejména u systémů u nichž se měří poloha natočení hřídele. Referenční značka je pak shodná s výchozí polohou systému a je tak možné vyhodnocovat o kolik je hřídel snímače vytočená do jedné nebo druhé strany. Těto vlastnosti se využívá např. u počítačových volantů a dalších herních periférií určených k ovládání počítačových her. Referenční značku lze však také velmi výhodně využít při snímání otáček systému za jednotku času.

Přesnost určení nulového bodu je dána šířkou rysky. Jsou-li požadavky na přesnost nulového bodu vyšší (snímače s velkým rozlišením), může docházet k problémům způsobeným tím, že světelný tok dopadající na fotocitlivý prvek může být příliš slabý, popř. může docházet k ohybu paprsku na šterbinové cloně. U přesnějších snímačů proto není tento puls generován jednoduchou ryskou, ale složitější soustavou různě širokých rysek na obou kotoučích, pohyblivém i nepohyblivém.[11]



Obr.2.7: Průběhy výstupů snímače [11]

Na obrázku (Obr.2.7) jsou zobrazeny výstupní signály inkrementálního senzoru označeny A a B. Vyhodnocení těchto výstupních signálů lze provést třemi základními způsoby. První a nejjednodušší způsob spočívá v čítání náběžných hran signálu A, signál B je použit pouze pro rozlišení směru otáčení. Druhý způsob spočívá v čítání náběžných i spádových hran signálu A, signál B je použit, stejně jako v minulém způsobu, pro rozlišení směru otáčení. Tímto způsobem

se dosahuje dvakrát vyšší rozlišovací schopnosti oproti prvnímu způsobu. Třetím a posledním způsobem vyhodnocení výstupních signálů inkrementálních senzorů je čítání náběžných i spádových hran obou signálů a tím dosažení čtyřnásobné rozlišovací schopnosti senzoru.

2.3 Laser

Technologické využití laseru představuje především obrábění a opracování materiálů, založené na využití schopnosti výkonných laserů koncentrovat energii optického záření v prostoru, čase i spektrálním intervalu a na interakci záření s látkou. Optický svazek vystupující z laseru lze pomocí optiky soustředit na malé plochy o průměru 10 až 100 μm , což má při interakci s pevnou látkou za následek nejprve její ohřev a tavení (pro intenzity $I = 10^6$ až 10^7 W/cm^2) a nakonec k její odpaření ($I = 10^8$ až 10^{12} W/cm^2). [14]

Hlavní přednost obrábění je právě možnost koncentrace působení vyzařované energie do jednoho bodu. V tomto bodě se provádí ohřev s takovou rychlostí, že se vyvíjené teplo nestihne rozšířit. Energie koncentrovaná do jednoho bodu zde vyvíjí tak vysokou teplotu, že je možné provést odpaření požadované části materiálu bez většího zásahu do krystalografického uspořádání okolí opracovávané oblasti. Další výhody použití laseru jako obráběcího nástroje jsou zřejmé. Nedochází k jeho opotřebení tak jako u mechanických obráběcích nástrojů (frézy, vrtáky, apod.). Laserové záření do ohřívaného místa nepřenáší žádné nečistoty (proces je možné provádět i ve vakuu). Laserovým svazkem lze také opracovávat nepřístupná místa. Jednou z největších výhod laseru je však jeho univerzálnost. Jedním přístrojem lze provádět více druhů operací. Stačí pouze změnit zaostření paprsku a tak provést také změnu velikosti ohřívané plochy.

Výše popsané výhody laserového obrábění umožňují používat laser k vrtání, řezání, sváření kalení, popisu elektronických součástek a integrovaných obvodů. Lasery si však své uplatnění našly také ve zdravotnictví nebo kosmetickém průmyslu. I přes vysokou pořizovací cenu se technologie obrábění pomocí laserového paprsku začíná v průmyslu čím dál tím více uplatňovat. To je zapříčiněno hlavně jeho efektivitou a tak velmi rychlou návratností vynaložených pořizovacích nákladů.

CO₂ laser

CO₂ laser je plynový laser, jehož aktivní prostředí tvoří molekuly oxidu uhličitého (CO₂) buzené doutnavým elektrickým výbojem. Záření generované tímto typem laseru spadá do vzdálené infračervené oblasti – nejčastěji je generovaná vlnová délka 1,06 μm . CO₂ lasery se vyznačují relativně vysokou účinností 8-10 %. V současné době pouze CO₂ laser dosahuje požadovaného rozsahu výstupních výkonů 1-30 kW, a proto patří mezi nejrozšířenější lasery vůbec. [14]

2.4 CNC řízení

2.4.1 Historie a současnost CNC řízení

Předchůdce CNC stroje, jak jej známe dnes, byl vynalezen koncem 50 a začátkem 60. let 19. století Johnem T. Parsosnem ve spolupráci s MIT laboratoří servomechanismů. CNC strojům předcházely NC stroje (numeric controlled – číslicově řízené), které měly velké problémy vytvořit přesné sériové výrobky. První CNC systémy vycházely z NC hardwarového stylu a počítač byl použit jako prvek provádějící operace, někdy i editaci [5].

Konstrukteři strojů dnes postupují modulárně tak, aby mohli stavebnicovým způsobem co nejrychleji a co nejlépe uspokojit požadavky zákazníků a snížit náklady, tedy i cenu prodáváného stroje. CNC stroje pokrývají dnes široký rozsah různých technologií obrábění, dále i oblast tváření a řezání materiálu (např. vodním paprskem, plamenem, laserem) a další. CNC obráběcí centrum je vlastně jeden stroj, která obsahuje rozličné technologie výroby. Znamená to tedy, že lze na jednom stroji provést více technologických operací. Vznikají též jednoúčelové specializované stroje s víceosým řízením, CNC měřicí stroje a další, které se přizpůsobují požadavkům zákazníka. [3]

2.4.2 Nulové body a další vztažné body

Řídicí systém CNC stroje po zapnutí stroje aktivuje souřadnicový systém ve vlastním stroji. Souřadnicový systém má svůj počátek – nulový bod, který musí být přesně stanoven. Podle použití mají nulové body své názvy. Na CNC strojích jsou i další důležité body. [3]

M-Nulový bod stroje: Je stanoven výrobcem. Je výchozím bodem pro všechny další souřadnicové systémy a vztažné body na stroji. U soustruhů je nulový bod stroje M umístěn v ose rotace obrobku v místě čela vřetene. U frézky v místě krajní polohy stolu frézky v obou osách – obvykle z pohledu obsluhy je to vlevo, vpředu. [3]

W – Nulový bod obrobku: Nastaví ho programátor pomocí dané funkce G v potřebném místě obrobku. Provádí se:

- a) posunutím souřadnicového systému – funkcí G54 až G59 (absolutně, přírůstkově) z nulového bodu stroje.
- b) indikuje se funkcí polohy nástroje – nástroj je definován v bodě souřadnicového systému, ze kterého vyplývá umístění nulového bodu. [3]

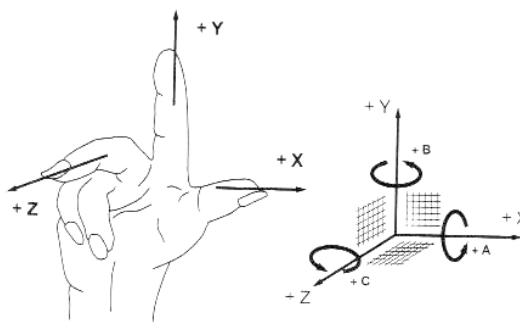
R – Referenční bod stroje: Je stanoven výrobcem a realizován koncovými spínači. Vzdálenosti nulového bodu stroje M a referenčního bodu stroje R jsou výrobcem přesně odměřeny v souřadnicové soustavě stroje a vloženy do paměti ŘS, jako strojní konstanty. [3]

Stroje, které mají přírůstkové odměřování portálů: po zapnutí stroje, v ručním režimu a provedením najetí do referenčního bodu, stroj „pozná“ svou polohu v souřadnicovém systému podle načtených souřadnic referenčního bodu. [3]

Stroje, které nemají zpětnou vazbu dosažené polohy nástroje: zařazení referenčního bodu do CNC programu vede k odstranění možných chyb. Mohou vznikat při interpolaci dráhy nástroje (kužely, rádiusy apod.). Ty mohou vznikat při zpoždění posuvů (např. zvýšeným třením), vzhledem k údajům, kterých již řídicí systém dosáhl. Nájezdem do referenčního bodu se takto načtené chyby, které posouvají souřadnicovou soustavu, eliminují tím, že se načte správná poloha nástroje dana souřadnicemi referenčního bodu. [3]

2.4.3 Souřadnicový systém stroje

Výrobní stroje používají kartézský systém souřadnic. Definice je dána normou ČSN ISO Terminologie os a pohybu. Systém je pravotočivý, pravoúhlý s osami X,Y,Z otáčivé pohyby, jejichž osy jsou rovnoběžné s osami X,Y,Z se označují jako A, B, C viz. obrázek (Obr.2.8). Platí, že osa Z je rovnoběžná s osou pracovního vřetene, přičemž kladný smysl probíhá od obrobku k nástroji. Hodnoty se vyskytují i v záporném poli souřadnic. [3]



Obr.2.8: – Definování kartézských souřadnic – pravotočivá soustava [3]

Kartézský systém souřadnic je nutný pro řízení stroje, nástroj se v něm pohybuje podle zadaných příkazů z řídicího panelu CNC stroje nebo dle příkazů uvedených ve spuštěném CNC programu. Je nutný pro měření nástrojů. Podle potřeby lze souřadnicový systém posunovat a otáčet. V případě měření nástrojů (zjišťování korekcí) je umístěn v bodě výměny nástrojů nebo na špičce nástrojů. [3]

2.4.4 Software pro CNC

StepFour

Tento program je nainstalován na řídicím počítači a řídí jak 3D CNC frézovací jednotku s krokovými motory, tak i 3D stůl pro CNC laserové obrábění. STEP-FOUR Frézovací software V4 pro operační systém DOS je spolehlivý produkt cenově dostupný. Vhodná alternativa frézovacího software XpertMILL pro Windows k řízení frézek.

Vlastnosti:

- ovládání 3-os s krokovými motory
- kompatibilní se všemi běžnými grafickými a CAD programy
- přenos dat přes HPGL a DXF formáty

- přepracovaný filter pro načítání formátů DXF
- DXF-Export pro řezání horkým drátem
- Vylepšené zpracování vnějších signálů
- Najíždění na pozice určené kurzorem myši
- 3D- náhledy

Mach3

Série Mach softwaru byla původně vyvinuta pro domácí fandy, ale rychle se stala jedním z nejvšestrannějších kontrolních balíků pro průmyslové obrábění.

Vlastnosti:

- Převod standardního PC na plně vybavený, 6-osy CNC kontrolér
- Možnost přímého importu DXF, BMP, JPG, a HPGL souborů prostřednictvím LazyCam
- Vizuální zobrazení gcode
- Generátor gcode přes LazyCam nebo Wizards
- Plně přizpůsobitelné rozhraní
- Přizpůsobitelné M-kódy a makra pomocí jazyka VBScript

TurboCNC

Jedná se o obsáhlý a efektivní CNC převaděč pro řízení stroje s až 8 osami pohybu. TurboCNC je plně funkční shareware, který lze pořídit za registrační poplatek 60 \$ (amerických dolarů).

Vlastnosti:

- Plně konfigurovatelné rozhraní krok / směr nebo přímé výstupy fáze - kompatibilní
 - s MaxNC a Hobbycnc, Geckodrives , a všech typů Camtronics pohonů
- Kanonický RS-274D g-kód - práce s CAM programy, jako jsou DeskEngrave, VectorCAM, ACE konvertor a další
- Vestavěný editor kódu - stop a re-start kdekoliv v programu
- Neomezená velikost souborů
- 8 osé simultánní pohyb,
- Konfigurovatelné IO pro reverzaci a regulaci otáček vřeten
- Plně parametrické programování, s proměnnými, podprogramy, a výrazy
- Lineární, kruhové a spirálové interpolace pomocí IJ nebo R notace
- Soustružení, řezání závitů, vrtání a frézování
- 60 korekcí nástrojů

2.4.5 Mechanická stránka CNC frézy

Vedení

Vedení translačních jednotek jsou plochá a kruhová. Plochá vedení mohou být soustředěna do trojúhelníkového nebo čtvercového (obdelníkového) uspořádání. Způsob uložení rozlišujeme kluzný a valivý. [2]

Kluzné uložení

Vodící plocha – pohyblivé části vedení – se stýká se stojícími, nepohyblivou částí vedení ve stykových plochách, na kterých vzniká kluzné tření. Velikost třecích sil je závislá na druhu materiálu stykových ploch, způsobu mazání a na velikosti sil ve směru normály. V tabulce níže je přehled materiálů a jím odpovídajících součinitelů tření.

Konstrukčně bývají opěrné kluzné plochy uspořádány tak, že nejsou celistvé, ale tvoří opěrné dílčí plošky. [2]

materiál		max. zatížení	součinitel tření
Šedá litina přirozená tvrdost	Šedá litina přirozená tvrdost	$2 \text{ až } 3 \cdot 10^4 \text{ (N} \cdot \text{m}^{-2})$ $1,5 \text{ až } 8 \cdot 10^3 \text{ (N} \cdot \text{m}^{-2})$	0,1 až 0,15 0,6 až 0,1 velké rychlosti
Šedá litina	Litina povrchově kalená	$2,5 \text{ až } 3,5 \cdot 10^4 \text{ (N} \cdot \text{m}^{-2})$	0,1 až 0,15
Šedá litina	Ocelově kalené lišty	$2,5 \text{ až } 3,5 \cdot 10^4 \text{ (N} \cdot \text{m}^{-2})$	0,1 až 0,15
Plast	Šedá litina přirozené tvrdosti	$3,5 \text{ až } 8 \cdot 10^3 \text{ (N} \cdot \text{m}^{-2})$	0,2 až 0,06

Tab.1: Parametry kluzných vodících ploch z různých materiálů [2]

Valivé uložení

U valivých vedení platí podmínka, že nesmí dojít k odlehčení žádného valivého tělíka. Podle tvaru valivých tělísek rozlišujeme valivá vedení kuličková, válečková a s kladkami. Valivé dráhy jsou rovinné nebo válcové. Vedení jsou buď předpjatá – valivá tělíska jsou přitlačena – přitlačným zařízením nebo předpjatá – valivá tělíska jsou přitlačena pouze vlivem zatížení vodících ploch.

Valivá tělíska jsou buď seřazena za sebou v délce zdvihu (to však vede k dlouhé pevné části vedení) nebo jsou v recirkulačních “valivých hnízdech”, která jsou umístěna podél vedení.

Pasivní odpory ve valivém přímočarém vedení počítáme podle jednoduchého vztahu [2]

$$F = nF_0 + \sum_{i=1}^n \frac{r_v}{r_i} N_i \quad [2]$$

n počet dvojic valivých drah

F_0 .. stálá složka pasivního odporu, nezávislá na zatížení

r_v ... rameno valivého doporu (mm)

r_i poloměr valivého tělíka i-té dvojice valivých drah (mm) [2]

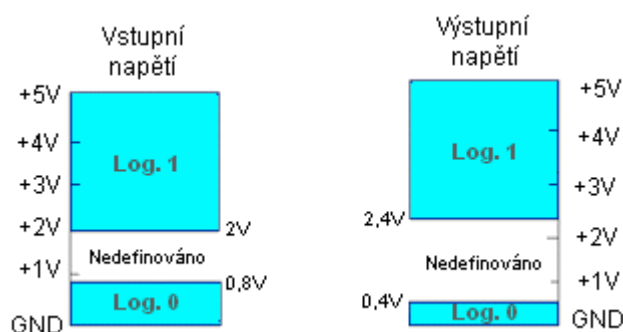
2.5 Komunikační rozhraní – LPT port a jeho zapojení

Paralelní port LPT je standardní součástí běžných počítačů PC pro paralelní komunikaci (paralelní přenos bitů signálu) s periferiemi pomocí 17 digitálních linek, které lze rozdělit na 8 datových signálů a 9 signálů pro řízení komunikace (handshaking). PC s periferií lze spolehlivě propojit na vzdálenost 2m, v praxi lze komunikovat i na vzdálenost max. 5m, při správném stínění datových vodičů komunikačního kabelu. [12] Periferie je k počítači možné připojit k LPT portu pomocí 25-ti pinového D-sub konektoru, který je převážně umístěn na základní desce PC. Při práci s tímto typem rozhraní je důležité dodržet několik zásad, jinak je poměrně snadné jej zničit. Periferie se k portu připojují při vypnutém stavu PC. Na vstupy nesmí být připojeno větší napětí než 5V, výstupy se nesmí zkratovat a musí se chránit před statickou elektřinou.

Definice signálů:

Výstupní signály paralelního portu jsou definovány klasickou TTL logickou úrovní signálů, tzn. log. 1. odpovídá hladině +3.5V až +5V a log. 0 hladině 0V až +0.4V (viz obr.13).

Rozdílné hodnoty maximálních zátěžových proudů paralelního portu, které se liší v závislosti na fyzické realizaci paralelního portu. Maximální hodnoty odebíraného proudu se mohou pohybovat od 4mA až po 20mA. Proto je vždy nejvýhodnější na paralelním rozhraní s PC komunikujícího zařízení využít oddělovací buffer. [12]



Obr.2.9: Definice napět. úrovní pro TTL [12]

Zapojení pinů LPT rozhraní

Zapojení bylo převzato přímo ze stránek firmy, která vyvinula program StepFour. Jak je vidět z tabulky (Tab.2), prvních 9 linek jsou signály reprezentující krokování a směr pro jednotlivé krokové motory zajišťující posuv obráběcího portálu. Piny č.12 a 15 jsou použity pro vymezení pracovního prostoru pomocí koncových snímačů polohy. Pin č.13 LPT portu je poté použit ke spouštění nebo zastavování pracovního nástroje.

1	INHIBIT	Slouží k vypnutí krokových motorů (Při spuštění software v log. 0)			
2	Takt	↘	X	(XA)	
3	Směr	↗			
4	Takt	↘	Y	(YA)	
5	Směr	↗			
6	Takt	↘	X2	(XB)	6 =Negace 1
7	Směr	↗			7 =Negace 2
8	Takt	↘	Z	(YB)	
9	Směr	↗			
10	Nezapojeno				
11	Nezapojeno				
12	Konc. spínače osy Z *				
13	Testování obr. nástroje*				
14	Nezapojeno				
15	Konc. spínače osy X/Y*				
16	INIT	Resetovací linka - Krátce po spuštění software uvedena do log. 0			
17	Nezapojeno				
18-25	GND				

* Signál je spínán proti GND.
Aby nedocházelo k rušení napětí a vzniku poruch, měl by
zde být připojen pull-up rezistor (10k) proti log. 1 na pinu 16.

Tab.2: Rozložení pinů na LPT portu řídicího PC [13]

3 Možná řešení

Tato kapitola se zabývá popisem možných řešení návrhu realizace elektroniky 3D stolu pro laserové obrábění. Nejprve je v ní však rozebrán stávající stav zařízení, poté jsou navržnuta použitelná řešení.

3.1 Počáteční stav zařízení

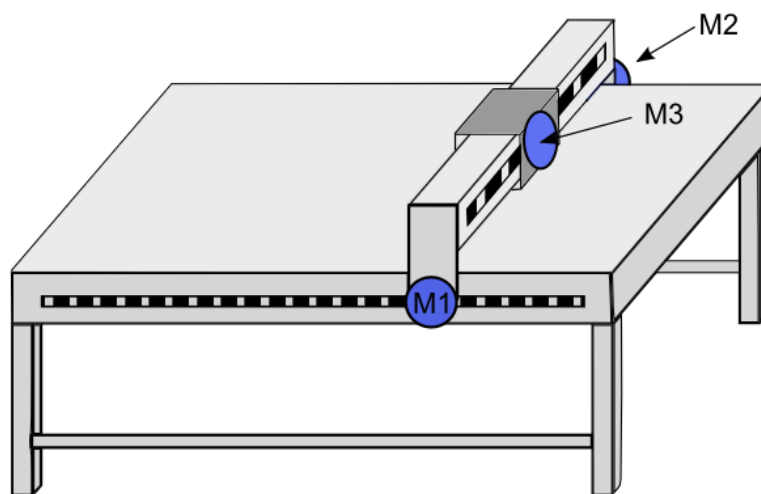
3D frézovací jednotka s krokovými motory

Tato jednotka je po mechanické stránce v poměrně dobrém stavu. Pro její řízení je použit řídicí program StepFour fungující pod systémem MS-DOS. Toto řešení má velkou výhodu ve spolehlivosti celého systému. Komunikuje s řídicí jednotkou krokových motorů pomocí LPT rozhraní, které není sice jedno z nejnovějších, avšak stále jej používá poměrně velké množství řídicích programů. Jeho výhodou spočívá ve zjednodušení práce jak programátora, tak i výrobce řídicí jednotky krokových motorů. Celý systém je v podstatě funkční. Je však třeba vyčistit a seřadit stroj po mechanické stránce (dotažení pružných spojek, mazání lineárních posuvů apod..). Dále je zapotřebí vhodně nastavit řídicí program STEP-FOUR V4 tak, aby byl celý obráběcí systém schopen pracovat s co nejvyšší přesností.

3D stůl pro laserové obrábění

Již hotová konstrukce stroje je znázorněna na obrázku (Obr.3.1). Posun obráběcího portálu v ose X zajišťují dva poměrně výkonné a kvalitní servomotory typu HSM 150. Na jedné straně hřídele jsou připojeny ozubená kola, jenž doléhají na kovové hřebínky. Tímto způsobem je zajištěna přeměna točivého pohybu motoru na posuvný (lineární). Na druhé straně hřídele jsou připojeny kvadrurní inkrementální senzory, avšak bez jakéhokoliv typového označení, popisu vývodů apod. K těmto sensorům byla dodána část originální dokumentace v ruském jazyce. Dokumentace obsahuje dvě strany. Na první se nachází elektrické schéma senzoru a na druhé je poté rozmístění součástek na desce plošného spoje.

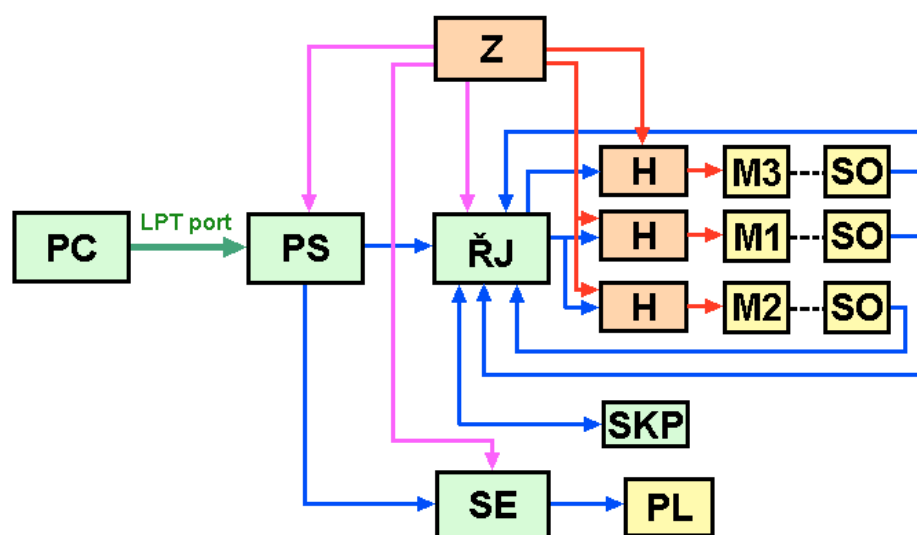
O posuv v ose Y se stará jeden servomotor HSM 150, opět s ozubeným kolem a hřebínkem a opět je doplněn o kvadrurní inkrementální senzor. Posuv v ose Z zatím není na fréze realizován. Původně byl na tomto CNC stroji pro posuv ve svislé ose použit pneumatický píst, jímž se realizovalo nadzvedávání nebo spouštění obráběcího nástroje. Zdroje transformující síťové napětí na napětí vhodné pro motory typu HSM 150 jsou z frézy vymontovány a nezapojeny. Před použitím je tyto zdroje nutné zapojit a otestovat jejich funkčnost.



Obr.3.1: Technologický náčrt 3D stolu pro laserové obrábění.

3.2 Výčet možných řešení

Výběr možných řešení je omezován na jedné straně řídicím počítačem a použitým rozhraním IEEE 1284 (LPT port) založeném na TTL logice a na druhé straně stejnosměrnými servomotory HSM 150 a na nich připojenými inkrementálními senzory otáček. Na obrázku (Obr.3.2) je uvedeno blokové schéma obecného řešení. Poté jsou pro dané bloky vypsána použitelná řešení.



Obr.3.2: Blokové schéma obecného řešení.

Vysvětlivky:

PC – Osobní počítač s programem STEP-FOUR

PS – Příjem signálu

ŘJ – Řídící jednotka

H – H-můstek

SKP – Snímače koncové polohy


SE – Spínací elektronika pro průmyslový laser


PL – Průmyslový laser


Z – Zdroj

M1,M2 – Motory pro posuv ve směru osy X

M3 – Motor pro posuv ve směru osy Y

 - Signál o velkém výkonu

 - Komunikační a řídicí signály

 - Napájecí signály

 - Standartní komunikační rozhraní

Blok - Příjem signálu

Tento blok obstarává příjem řídicích signálů vyslaných osobním počítačem po LPT portu a jejich úpravu tak, aby byly tyto signály vhodné pro jejich příjem řídicí jednotkou. Hlavní problém přenosu je v tom, že počítač po LPT portu posílá signál, který řídí krokování krokových motorů. Řídící pulsy tohoto signálu trvají však pouze několik mikrosekund, a proto by je řídicí jednotka nemusela spolehlivě zaznamenat. Proto je zapotřebí obvod, jenž tyto pulsy dokáže prodloužit.

Monostabilní klopný obvod: Jsou to obvody aktivované náběžnou nebo spádovou hranou daného signálu. Používají se k prodlužování těchto signálů na libovolnou dobu. Mohou být realizovány pomocí zapojení pasivních součástek nebo pomocí integrovaných obvodů (např. pomocí časovače NE555). Jednou z nevýhod těchto obvodů je to, že by pro každou linku LPT portu řídicí krokování bylo nutné postavit nový obvod.

Mikrokontrolér: Použití mikrokontroléru by mělo také jisté výhody. Jedna podstatná nevýhoda při použití monostabilního klopného obvodu spočívá v tom, že pokud by po sobě velice rychle následovaly dva pulsy a monostabilní klopný obvod by byl špatně nastaven mohlo by dojít ke ztrátě jednoho z pulsů. Mikrokontrolérem můžeme tyto případy ošetřit, avšak je velice důležité použít mikrokontrolér používající logiku TTL stejně jako LPT port.

Blok - Řídící jednotka

Tento blok přijímá upravené řídicí signály a na jejich základě ovládá prostřednictvím vykonových H-můstků stejnosměrné motory pro pohyb v osách X a Y.

Mikrokontrolér: Použití mikrokontrolérů má jistě několik nesporných výhod. Jsou poměrně rychlé, je možné je snadno naprogramovat a také jsou v porovnání s ostatními variantami nejlevnější. Jejich nevýhodou však je, že je nutné vytvořit desku plošných spojů a pro nahrání programu do jejich paměti si je třeba pořídit programátor (komponenta zprostředkovávající přenos dat mezi mikrokontrolérem a počítačem pomocí určitého rozhraní).

Vestavný PC: Je miniaturní počítač používaný pro řízení různých průmyslových procesů. Převážně nedosahuje tak vysokých výpočetních výkonů jako stolní počítače, avšak má sofistikovanější chlazení a je také odolnější vůči vnějším vlivům (otřesy, prach apod.). Nevýhodou použití tohoto řešení je určitě příliš vysoká pořizovací cena.

PLC: Je moderní komponentou obstarávající převážně řízení průmyslových procesů. Použití PLC přináší výhodu snadnějšího programování, moduly jsou velice odolné proti nepříznivým faktorům vznikajících v průmyslu, jako jsou prašnost, otřesy apod. Pořizovací cena PLC se pohybuje v mnohem příznivějším rozmezí než řídicí jednotky na bázi vestavných PC, avšak stále ani z daleka nedosahuje k cenám mikrokontrolérů.

Blok - H-můstek

Tento blok přijímá signály z řídicí jednotky a na jejich základě řídí tok energie o velkém výkonu ze zdroje do motorů. Umožňuje jak reverzaci, tak i spouštění nebo brždění motoru.

Integrovaný H-můstek: Integrovaná podoba můstku má jednu podstatnou nevýhodu, a to že nelze přizpůsobit jeho vlastnosti našim požadavkům. Je možné pouze vybírat z omezeného množství těchto součástek. Další nevýhodou může být to, že všechny spínací prvky jsou obsaženy v jednom pouzdru a to zvyšuje nároky na chlazení tohoto výkonového prvku.

H-můstek postavený z diskrétních součástek: Má nespornou výhodu v tom, že si ho lze navrhnout tak, aby splňoval jakékoliv požadavky. Nevýhodou však je to, že musíme realizovat nový obvod a také to, že nikdy nejsme schopni dosáhnout rozměrů integrované formy H-můstku.

Blok - Snímače koncové polohy

Blok snímačů koncové polohy je použit jako ochrana před zničením motorů pokud by obráběcí portál dojel na konec své dráhy ve směru X nebo Y a motory by se snažily překonat tuto polohu.

Mechanický spínač: Mechanický spínač vhodně umístěný na konstrukci má podstatnou nevýhodu v tom, že každé kontaktní snímání polohy nemá takovou životnost jako bezkontaktní. Avšak na druhou stranu je toto řešení poměrně jednoduché a levné.

Optická závora: Patří ke skupině bezkontaktních snímačů polohy. Je o něco málo finančně náročnější, avšak řešení pomocí ní má mnohem větší životnost a odolnost proti drobným mechanickým částicím než mechanický spínač.

Blok - Spínací elektronika pro průmyslový laser

Tento blok řeší zapínání a vypínání průmyslového laseru, jež bude ve fréze použit jako obráběcí nástroj. Elektronika je ovládána z LPT pomocí pinu č.13. Tento pin slouží přímo k zapínání nebo vypínání obráběcího nástroje. Elektronika musí být schopná spínat různé druhy obráběcích nástrojů, aby byla fréza co nejuniverzálnější, avšak prioritou je, aby byla schopná zapnout a vypnout průmyslový laser.

Blok - Průmyslový laser

V testovací fázi bude použit laser o bezpečném výkonu maximálně 5 mW. Takto výkonný laser by neměl při odrazu způsobit zdravotní komplikace obsluze CNC stroje a pro předvedení funkčnosti naprosto postačí.

Blok - Zdroj

Tento blok napájí téměř všechny použité bloky. Musí tedy být vhodně navržený tak, aby nedošlo k jeho zničení za chodu celé řídicí a spínací elektroniky a výkonných motorů HSM 150. Práce však počítá s použitím již hotových modulů zdrojů, jež byly dodány spolu s mechanickou částí celého stroje.

4 Vybrané řešení

Tato kapitola se zabývá výběrem vhodného řešení na základě zvolených kritérií. Výběr vychází z blokového schématu a navržených možností v kapitole č. 3 (Možná řešení). Na základě vybraných prvků je poté sestaveno detailní blokové schéma navrženého systému, podle něhož je postupováno při návrhu řídicí elektroniky.

4.1 Zvolená kritéria

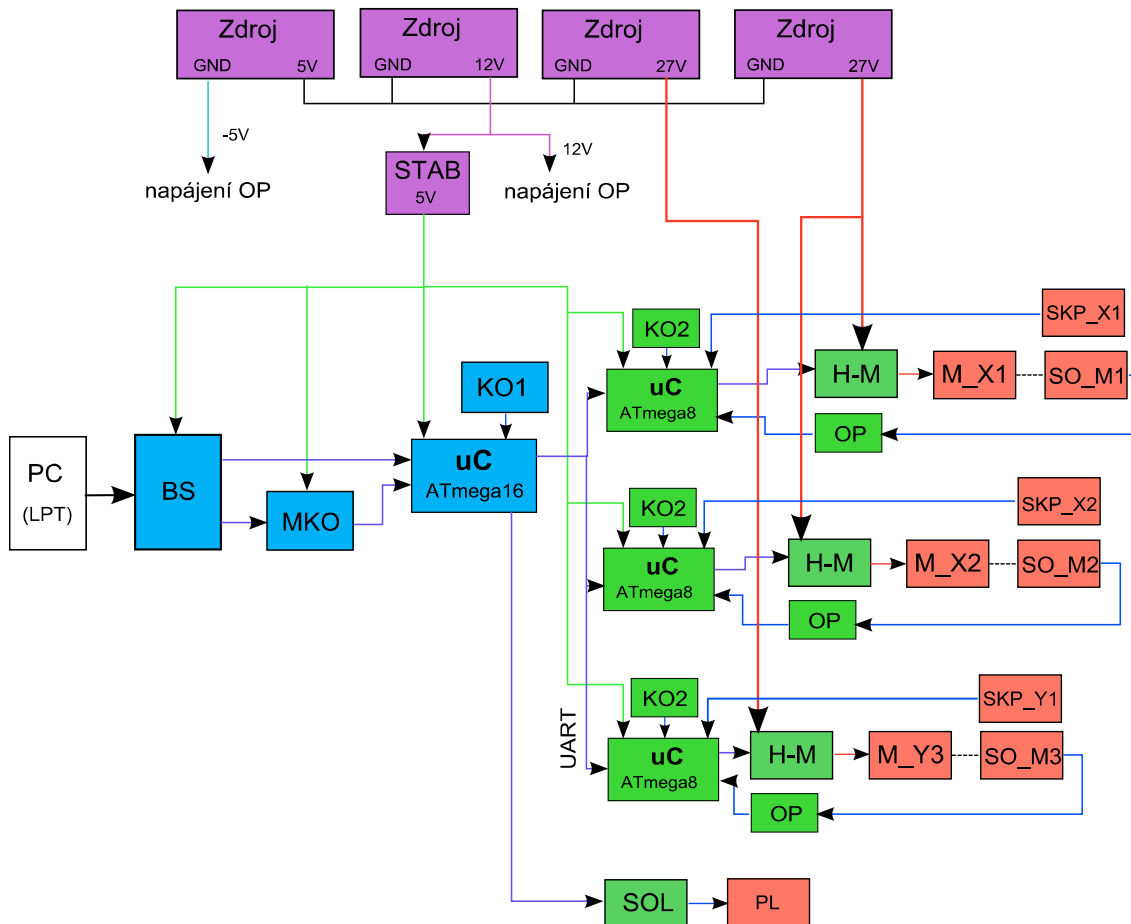
Při volbě nejvhodnějšího bylo rozhodováno dle následujících kritérií:

- 1) Přijatelná cena použitých součástí
- 2) Modulárnost vyrobeného systému
- 3) Schopnost systému reagovat na vstupní signály dostatečně rychlou změnou výstupních hodnot
- 4) Připojitelnost systému na LPT port počítače
- 5) Použitelnost systému k řízení motorů HSM 150
- 6) Možnost vyrobit celý systém v laboratoři
- 7) Práce se známými řídicími komponentami
- 8) Vývoj programu ve známém prostředí a jazyce
- 9) Odolnost v prašném prostředí s možností výskytu mechanických vibrací
- 10) Dostatečná životnost daného řešení
- 11) Kvalita zpracování
- 12) Spolehlivost vyrobeného systému

Žádná z kombinací zamýšlených variant jednotlivých bloků nemůže splňovat přesně všechny kritéria. Výběr nejvhodnějšího řešení však byl proveden tak, aby bylo splněno co nejvíce požadavků s nejvyšší prioritou (cena, spolehlivost, odolnost, rychlost).

4.2 Blokové schéma vybraného řešení

Na obrázku (Obr.4.1) je uvedeno blokové schéma výsledného řešení.



Obr.4.1: Blokové schéma použitého řešení.

Vysvětlivky:

MKO – Monostabilní Klopný Obvod
 BS – Budiče Sběrnice
 H-M – H-Můstek
 SOL – Spínací Obvod Laseru
 PL – Průmyslový Laser
 SKP – Snímače Koncové Polohy
 KO – Krystalový Oscilátor
 uC – Mikrokontrolér
 PC – LPT port řídicího počítače
 Stab – Stabilizátor
 OP – Opto-převodníky
 M-xx – Motory typu HSM 150

- Prvky umístěné na CNC fréze
 - Zdroje
 - Hlavní deska
 - Desky budičů motorů
➔ - Signál napájení o napětí 27V
➔ - Řídící nebo komunikační log. signály
➔ - Signál napájení o napětí 5V
➔ - Signál napájení o napětí 12V
➔ - Ostatní signály

4.3 Popis vybraného řešení:

K sestavení zdrojové části byly použity originální zdroje dodané k frézovací jednotce. Zdrojová část systému sestává z jednotky centrálního zapínání, dvou stabilizovaných zdrojů schopných dodávat 27V (jejich maximální proudová zatížitelnost je pak 13 A) a zdroje, který dodává napětí 5V a 12V. Poslední jmenovaný byl zapojen jako souměrný zdroj tak, aby celému systému poskytoval napájecí napětí o velikosti +12V a -5V. Toho bylo dosaženo propojením výstupu GND (zdroje 12V) s výstupem +5V druhého zdroje.

První deska plošného spoje byla pojmenována jako „hlavní deska“. Jejím úkolem je vyhodnocovat řídicí signály poskytnuté počítačem a na jejich základě generovat a odesílat data dalším třem deskám pojmenovaným jako „desky budičů motorů“. Jako komunikační rozhraní mezi již zmíněnou hlavní deskou a řídicím počítačem je použito LPT rozhraní. U tohoto typu rozhraní je při práci s ním velice důležité zachovat několik zásad, viz teoretický rozbor (2.5 Komunikační rozhraní – LPT port a jeho zapojení), jinak může dojít k jeho poškození. Řídicí signály, nesoucí informaci o rychlosti otáčení motorů, jsou upraveny pomocí monostabilního klopného obvodu na tvar vyhovující hlavně svou šířkou pulsu mikrokontroléru. Dále jsou řídicí signály přivedeny na dva ze vstupních portů již zmíněného mikrokontroléru, taktovací signály jsou přivedeny na vstupy INT0 a INT1. Rychlost použitého mikrokontroléru je dána taktem externího krystalu pracujícího na frekvenci 16 MHz. Mikrokontrolér na základě řídicích signálů z PC v podstatě zasílá desce budiče motoru informace o směru a vzdálenosti, jakou musí motory ujet. Vypočtená data jsou odesílána po rozhraní typu UART jedné ze tří desek budiče motoru.

Deska budiče motoru je opatřena mikrokontrolérem ATmega8, komunikačním rozhraním UART, obvodem pro napájení a příjem signálů z inkrementálního snímače polohy a otáček hřídele motoru a v neposlední řadě také výkonovým H-můstkem. H-můstek je v podstatě tvořen čtveřicí výkonových tranzistorů řídicí tok energie ze zdroje do motoru, odporovými děliči a optočleny spínajícími již popsané výkonové tranzistory. Dále jsou také na vstupní port mikrokontroléru přivedeny signály ze snímačů koncové polohy. Ty jsou realizovány pomocí mechanických spínačů vhodně umístěných na konstrukci stroje.

Třetí a poslední „deska spouštění laserové jednotky“ zajišťující spínání výkonového laseru bude navržena po jeho zakoupení. Bude tak možné vyhovět všem požadavkům na napájení výkonového laseru.

5 Technické a realizační řešení

5.1 Oživení frézovací jednotky s krokovými motory

Oživení frézovací jednotky s krokovými motory spočívalo v propojení řídicí jednotky pro frézu zakoupenou u firmy STEPFOUR s osobním PC, na němž je nainstalováno frézovací software STEP-FOUR V4 pro operační systém MS DOS. Program je sice k dostání i ve verzi fungující pod operačním systémem Windows, avšak toto řešení má poměrně velkou slabinu v nestabilitě systému Windows. Systém MS DOS sice neposkytuje tak kvalitní grafické a uživatelské rozhraní, ale vyniká ve své stabilitě a pravděpodobnost, že se celý systém zhroutl v průběhu frézovacího procesu je mnohem nižší.

Oživení frézovací jednotky dále spočívalo v nastavení celého softwaru STEP-FOUR V4, což nebyl jednoduchý úkol, protože je celé prostředí v německém jazyce. Import obrazce pro obrábění lze do již zmíněného prostředí STEP-FOUR V4 možný provést pomocí souborů několika formátů. Mezi formáty, které je prostředí schopno importovat jsou mimo jiné hlavně formáty EXCELLON a HPGL. Formát Excellon je formát používaný k řízení CNC frézek na výrobu desek plošných spojů (PCB). Je to varianta standardu RS-274C, což je formát ASCII skládající se z příkazů k vrtání děr o zvláštních průměrech a specifikovaných umístění na DPS. [15] HPGL někdy s pomlčkou jako HP-GL byl primárně řídicí jazyk používaný plotry firmy Hewlett-Packard. HPGL je zkratka pro *Hewlett Packard Graphics Language*. Později se stal standardem pro téměř všechny plotry. Jazyk je tvořen sérií dvou alfanumerických kódů za nimiž následují volitelné parametry. [16]

Při nastavování frézovacího prostředí STEP-FOUR je třeba provést dva stěžejní úkoly. Nejprve je třeba nastavit nulové body (referenční nulový bod, nulový bod stroje a nulový bod materiálu). Nastavením referenčních bodů a limitů se nastavuje v podstatě programová omezení pro pohyb obráběcího nástroje. Toto řešení se používá u frézovacích jednotek bez koncových spínačů. Dále je třeba nastavit nulový bod stroje a limitaci pohybu. Nulový bod stroje je dobré nastavit shodně s nulovým bodem materiálu. Tímto je v podstatě nastavena počáteční poloha obráběcího nástroje. Po skončení procesu obrábění se vřeteno automaticky vrátí do této polohy.

Dále je také nutné nastavit hloubku frézování nebo vrtání pro jednotlivé hladiny výkresu. Toto byla první část nutného nastavení frézovacího prostředí.

Druhá část nastavení spočívá v konfiguraci dalších parametrů při importu výkresu. Nejprve je volen formát výkresů (HPGL, Excellon, atd..) a poté je voleno měřítko délkových rozměrů na výkrese k délkovým rozměrům ve skutečnosti.

Poté již stačí jen vybrat hladiny, které mají být vyfrézovány nebo odvrtány a je možné spustit obráběcí proces.

5.2 Technické vlastnosti použitých DC servomotorů HSM 150

Celková konstrukce servomotoru je válcového tvaru. Na čelní straně kruhové příruby motoru je vyvedena výstupní hřídel k napojení na poháněné ústrojí. Zakončení hřídele na této straně může mít válcový nebo kuželovitý tvar. Na druhé straně motoru je hřídel taktéž vyvedena. Její tvar je válcový a je na ni proto možné napojit snímač polohy nebo rychlosti otáčení. Kvůli lepšímu odvodu tepla je statorová část motoru opatřena chladícím žebrováním. Do obvodu je možné motor zapojit pomocí kolíkového konektoru typu BN 18.

Oteplování motoru zapříčiněné elektrickými a mechanickými ztrátami je u tohoto motoru možné snižovat přivedením chladícího vzduchu z ventilátoru pomocí hadice napojené na nátrubek rozdělovače vzduchu. Chladící médium, což je v tomto případě ventilátorem vháněný vzduch, po průchodu mechanickou konstrukcí vystupuje čtyřmi otvory o průměru 21mm umístěnými v přední části motoru.

Na motory jsou dále připojeny inkrementální kvadrurní senzory pro snímání polohy natočení hřídele nebo otáček,

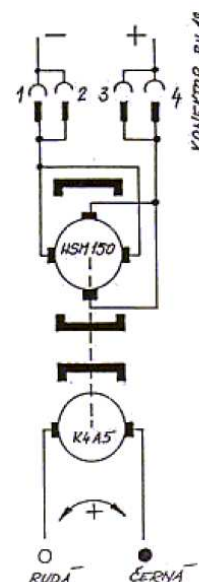
Jmenovité parametry

Parametr	Jednotka	HSM 150	HSM 150 C
Napětí U_N	V		24
Moment M_N	Nm	$\geq 0,39$	$\geq 0,52$
Otáčky n_N	min^{-1}	~ 3650	~ 3300
Proud I_N	A	$\sim 8,5$	~ 11
Výkon P_N	W	≥ 140	≥ 180
Účinnost	%	≥ 70	
Tlak chladícího vzduchu	Pa		~ 80

Tab.3: Jmenovité parametry motorů typu HSM 150



Obr.5.1: Vzhled servomotoru HSM 150 [9]



Obr.5.2: Zapojení konektoru [9]

5.3 Popis návrhu řídicí elektroniky jednotky s DC motory

Jak již bylo popsáno výše, celá řídicí jednotka je rozdělena do několika funkčních bloků. Každý blok je poté realizován na samostatné desce plošných spojů (DPS). První z bloků byl pojmenován jako „hlavní deska“. Je osazen mikrokontrolérem ATmega16, budiči sběrnice, monostabilními klopnými obvody a konektory vytvářejícími rozhraní mezi hlavní deskou a dalšími třemi deskami osazenými výkonovou elektronikou tzv. „desky budičů motorů“. Tyto desky jsou osazeny mikrokontroléry ATmega8, obvody pro optické oddělení a výkonovými můstky regulujícími tok energie o poměrně vysokém výkonu ze zdroje do motorů.

5.3.1 Hlavní deska – Příjem řídicích signálů z PC

Tato část řídicí elektroniky má za úkol přijmout řídicí signál z LPT portu počítače. Pro jistotu bylo hned za konektorem typu Cannon 25 použito odporové oddělení rezistory o velikosti 10 k Ω a dále byla vstupní část doplněna budiči sběrnice. Řídicí signály se skládají ze signálů udávajících krokování a dalších udávajících směr posuvu nebo referenci pohybu. První jmenované signály, a to signály udávající rychlost krokování pro krčkové motory, jsou velmi krátké a některé trvají i pouhých 6 mikrosekund. Delší program v mikrokontroléru by mohl způsobit to, že by tyto velmi krátké pulsy nemusely být zaznamenány. Proto byly použity 4 monostabilní obvody (pro každou taktovací linku jeden) založené na známém obvodu časovače NE555. Bylo použito katalogové zapojení tohoto časovače. Z důvodu, že obvod NE555 je schopen reagovat pouze na spádové hrany signálu (LPT port používá kvůli bezpečnosti logiku, kdy je na datových linkách v klidovém režimu log.1) je časovači předřazen blok invertorů pomocí obvodu 74HCT04.

Bylo nutné dosáhnout prodloužení signálu alespoň na délku 60 μ s. Výpočet RC členu se provede následovně:

$$R = 6k\Omega$$

$$C = 100nF$$

$$T_p = 1,1 \cdot R \cdot C = 1,1 \cdot 6 \cdot 10^3 \cdot 10^{-10} = 6,6 \cdot 10^{-7} s = \underline{\underline{66\mu s}}$$

Z důvodu že je vzorec pro výpočet časové konstanty poměrně jednoduchý, bylo možné hodnoty součástek zvolit orientačně a je vidět, že výsledná hodnota časové konstanty je optimální. Nebylo třeba volit jednu z hodnot a dopočítvat druhou.

5.3.2 Hlavní deska – Mikrokontrolér

Srdcem celého zapojení hlavní desky je mikrokontrolér ATmega16. Tento mikrokontrolér má za úkol zpracovat řídicí signály z osobního PC a odeslat potřebná data pro řízení motorů dalším deskám prostřednictvím rozhraní UART.

Velmi důležité je také to, aby byl program, podle kterého mikrokontrolér pracuje, napsán s ohledem na synchronizaci pohybu všech motorů. Pokud by motory nebyly správně synchronizovány, mohla by frézovací jednotka v lepším případě pracovat s velmi malou přesností, v horším případě by mohlo dojít k jejímu zničení (při špatné synchronizaci dvou motorů použitých pro pohyb celého obráběcího portálu ve směru osy X).

5.3.3 Hlavní deska – Použitá rozhraní

Hlavní deska používá pro komunikaci hned několik typů standardních rozhraní. Prvním je rozhraní ISP, které je používáno pro nahrávání programu do Flash paměti mikrokontroléru ATmega16. Druhým použitým rozhraním je rozhraní typu UART. To je používáno celým systémem pro komunikaci mezi hlavní deskou a deskami budičů motorů. Třetím použitým rozhraním je v podstatě sběrnice typu I2C, pomocí níž komunikuje hlavní deska s deskou spouštění průmyslového laseru.

5.3.4 Hlavní deska – Zdrojová část

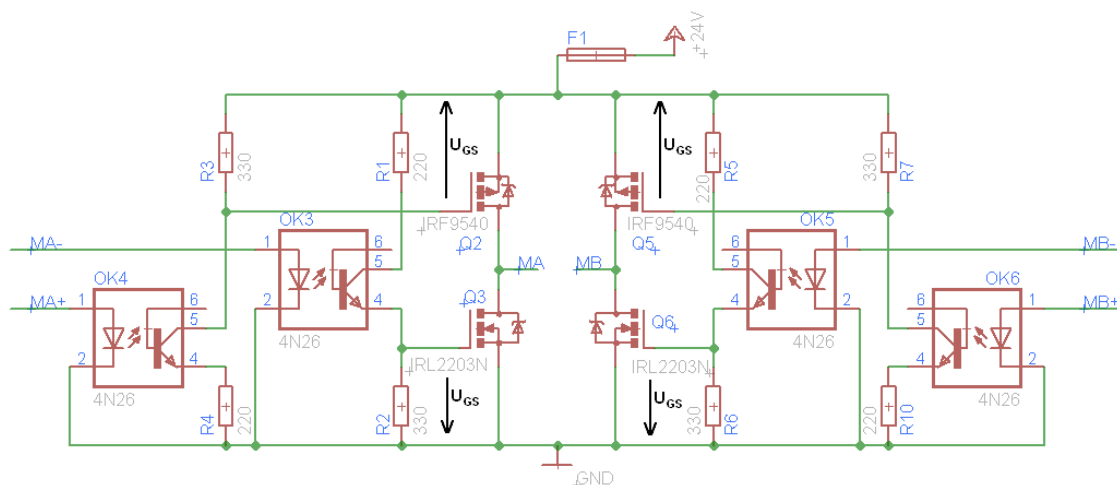
Zdrojová část celého systému je umístěna právě na hlavní desku. Tato část má za úkol upravit napětí přivedené ze zdrojů tak, aby byly k dispozici napětí o velikostech +12V, +5V -5V. Napětím 12V je zapotřebí napájet ventilátor zajišťující cirkulaci vzduchu v krabici a podporující chlazení výkonových prvků. Dále je napětí 12V přiváděno jako napájení pro inkrementální kvadrturní senzory umístěné na motorech kvůli snímání otáček. Napětí -5V je potřeba také pro napájení těchto inkrementálních senzorů. Napětí o velikosti 5V je potřeba pro napájení zbytku logických obvodů a mikrokontrolerů.

5.3.5 Budiče motorů – Mikrokontrolér

Srdcem zapojení desky budiče motoru je známý mikrokontrolér ATmega8. Mikrokontrolér má za úkol přijmout prostřednictvím sběrnice UART informaci o směru a vzdálenosti, kterou mají motory ujet. Poté musí mikrokontrolér nastavit střidu PWM modulace a následně snímat data z inkrementálních kvadrturních senzorů a kontrolovat tak ujetou vzdálenost.

5.3.6 Budiče motorů – Výkonová část

Tato část návrhu byla kvůli nefunkčnosti několikrát přepracována. V původním návrhu totiž nebylo vzato v úvahu několik zásadních parametrů použitých spínacích prvků, které poté měly za následek nefunkčnost vyrobených prototypových desek plošných spojů. V této podkapitole je tedy detailně rozebráno a popsáno použité zapojení a jsou zde uvedeny nutné výpočty k zjištění použitelných pracovních parametrů celého výsledného zapojení.



Obr.5.3: Schéma navrhnutého H-mústku

Samotný H-mústek je tvorený dvoma párami tranzistorů MOSFET. Dolní tranzistory mají kanál typu N, horní tranzistory pak mají kanál typu P. Schéma H-mústku je uvedeno na obrázku (Obr.5.3). Dle použitého typu motoru byly spínací tranzistory vybrány s ohledem na cenu a pracovní parametry tranzistorů IRF9540 a IRL2203N. Mezi parametry, jenž je třeba při návrhu můstku vzít v úvahu jsou maximální připojitelné napětí mezi Gate a Source (U_{GS}), odpor tranzistoru v sepnutém stavu (R_{DS}), maximální dovolené napětí mezi Source a Drain (U_{DS}), maximální proud, který může tranzistorem procházet (I_{DSS}) a v neposlední řadě také vstupní kapacita přechodu mezi řídicí elektrodou a vodivým kanálem (C_{ISS}), což je v případě návrhu H-mústku poměrně významný údaj. Jednotlivé parametry použitých tranzistorů byly pro přehlednost vypsány do tabulky (Tab.4).

Parametr	IRF9540	IRL2203N
Typ kanálu	P	N
I_{DSS}	19A	116A
U_{DS}	100V	30V
U_{GS}	20V	16V
P_D	150W	180W
R_{DS}	0,2 Ω	0,007 Ω
C_{ISS}	3,29 nF	1,4 nF
Cena	20,30 Kč	26,80 Kč

Tab.4: Důležité pracovní parametry použitých tranzistorů [4],[19]

Z nahlédnutí do technické specifikace použitých servomotorů typu HSM 150 byly zjištěny následující údaje. Napájecí napětí motorů je 24V a při plných otáčkách odebírá motor asi 8,5 A. Z parametrů vybraných tranzistorů vyplývá, že jsou schopné napájet motor napětím až 30V, dodávat proud až 19 A (tento parametr je třeba u spínacích prvků naddimenzovat kvůli

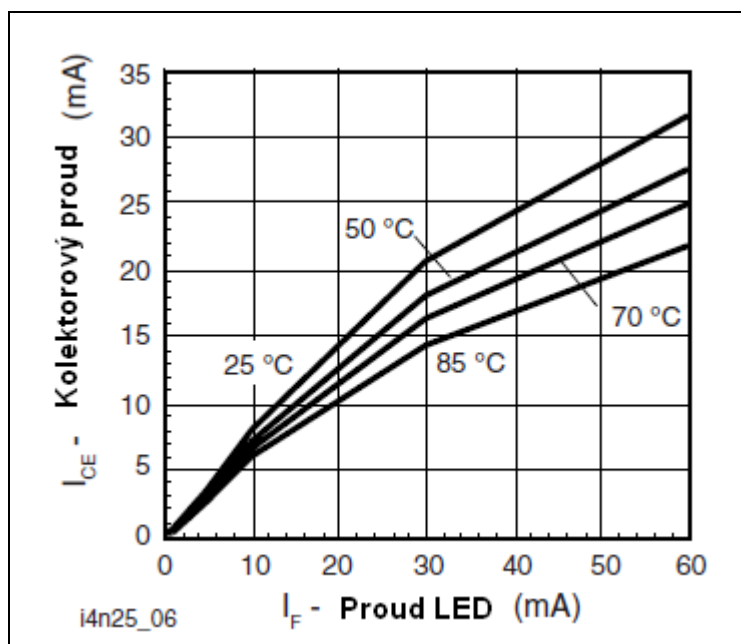
proudovým rázům při rozjezdu motoru). Výkonové ztráty při chodu je možné vypočítat pomocí základního vzorce pro výpočet ztrátového výkonu:

$$\text{Pro tranzistor IRF9540 : } P = U \cdot I = I^2 \cdot R = 8,5^2 \cdot 0,2 = \underline{\underline{14,4 \text{ W}}}$$

$$\text{Pro tranzistor IRL2203N : } P = U \cdot I = I^2 \cdot R = 8,5^2 \cdot 0,007 = \underline{\underline{0,505 \text{ W}}}$$

Z výpočtu je patrné, že tranzistor IRF9540 by bylo lepší vyměnit za tranzistor s nižším odporem v sepnutém stavu, avšak jediný další dostupný tranzistor byl IRF4905 s 10-krát nižší hodnotou R_{DS} a zato dvojnásobně vyšší cenou. Při problémech s přehříváním tranzistorů je však poměrně jednoduché tyto tranzistory vyměnit. Motory budou řízeny pomocí PWM modulače tak, že budou dosahovat pouze nízkých otáček a tak i malých pracovních proudů. Proto by na nich takto velká výkonová ztráta ani neměla vzniknout.

Prvním poměrně větším problémem byl však parametr U_{GS} , jenž omezoval řídicí napětí na bázi tranzistoru IRL2203N na hodnotu 16V. Proto je spínání řídicí elektrody výkonových tranzistorů vedeno přes odporové děliče snižující toto napětí na použitelné úrovni. Jedním z důležitých požadavků kladených na H-můstek bylo, aby byl galvanicky oddělen od nízkonapěťové řídicí části systému. Pro galvanické oddělení byly proto vybrány optopřevodníky 4N26. Tyto spínají právě jmenované odporové děliče připojené na elektrody Gate unipolárních spínacích tranzistorů. Fototranzistory v optopřevodnících se poté chovají jako zdroje konstantního proudu. Velikost proudu tekoucího tranzistorem je závislá na velikosti proudu I_F procházejícího budicí diodou optopřevodníku.



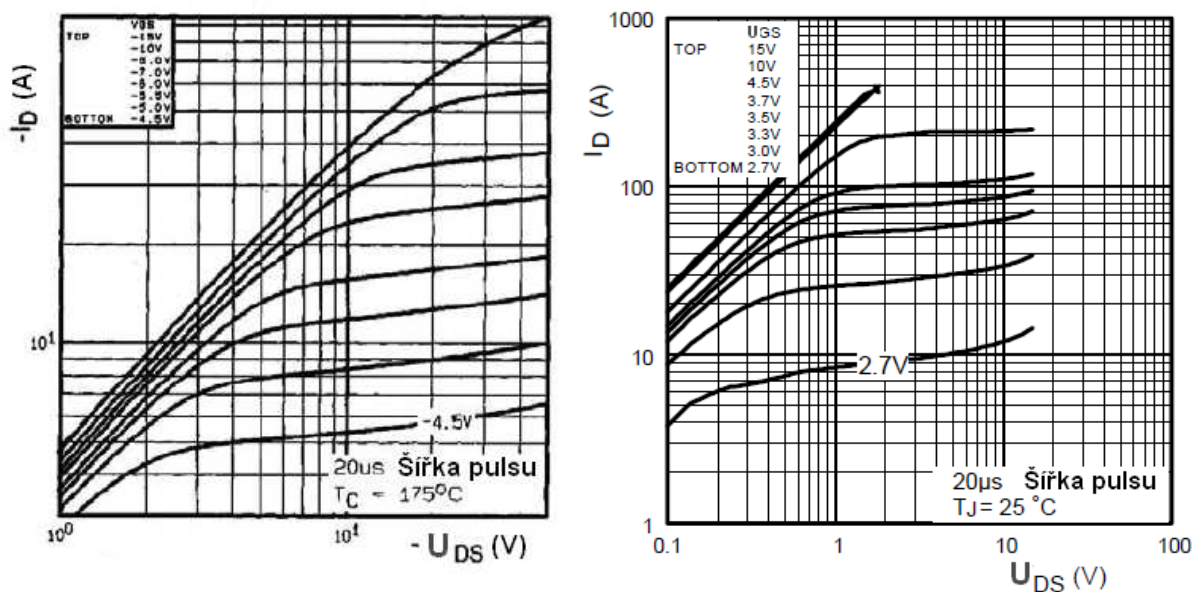
Obr.5.4: Závislost velikosti proudu kolektoru tranzistoru na velikosti proudu LED [18]

Při zjišťování proudu tekoucího kolektorem je tedy nutné znát proud tekoucí LED diodou. Jelikož byla LED připojena přímo na výstup mikrokontroléru, který je do ní schopen dodávat proud o velikosti 40mA, je z charakteristiky na obrázku (Obr.5.4) patrné, že při teplotě 25°C bude protékat odporovým děličem na výstupu proud o velikosti asi 24 mA.

Řídicí napětí na elektrodě Gate tranzistorů vzniká vždy při sepnutí tranzistoru optopřevodníku. Napětíovým děličem začne protékat proud o velikosti 24 mA. To znamená, že na odporech o velikosti 330Ω vždy vzniká napětí U_{GS} (vyznačeno ve schématu) o velikosti, jenž se vypočte dle ohmova zákona:

$$U = I_{R_2} \cdot R_2 = 0,024 \cdot 330 = \underline{\underline{7,92 \text{ V}}}$$

U tranzistorů IRF9540 má toto napětí zápornou polaritu, jak vyplývá ze schématu. Dále je tedy nutné zkontrolovat, zda je toto napětí schopno dostatečně otevřít použité tranzistory. To lze zjistit z technické specifikace dodané k těmto tranzistorům.



Obr.5.5: Převodní charakteristika tranzistoru IRF9540 (vlevo)[19]
a IRL2203N (vpravo) [4]

Z uvedených charakteristik na obrázku (Obr.5.5) je patrné, že při řídicím napětí -7,92V se bude tranzistor IRF9540 docela spolehlivě otevírat a při vyšších napětích U_{DS} bude plně otevřen. Podobná situace je i na tranzistoru IRL2203N, kde má však řídicí napětí kladnou polaritu a tranzistor se otevírá ještě rychleji než IRF9540.

Dále je nutné vypočítat časové konstanty při otevírání a zavírání tranzistorů, neboť zvolené unipolární tranzistory mají poměrně velkou parazitní kapacitu přechodu a při nesprávně

zvolených hodnotách odporů v děliči na elektrodě Gate by mohlo dojít k velkému zpoždění při otevírání nebo zavírání tranzistorů. Z vypočteného zpoždění je poté odvozena také frekvence výsledné PWM modulace.

Celá situace je popsána pro tranzistor Q3. Nejprve je popisována situace při spínání tranzistoru. Je třeba si uvědomit, jak je parazitní kapacita tranzistoru v obvodu zapojena (paralelně k rezistoru R2) a jak bude působit na napěťový dělič v obvodu elektrody Gate tranzistoru. Dále je třeba si při výpočtu uvědomit, že optočlen se v obvodu chová jako zdroj konstantního proudu 24 mA. Na kapacitě hradla tranzistoru tedy vzniká stejné napětí, jako na odporu R2. Na parazitní kapacitě tedy může vzniknout maximální napětí 7,92V a může jí protékat proud maximálně 24 mA. Obvod je tedy možné nahradit modelem zdroje stejnosměrného napětí s vnitřním odporem R_i . Na nějž je připojen kondenzátor o kapacitě hradla (3,29 nF). Vnitřní odpor zdroje je poté možné vypočíst dle Ohmova zákona:

$$R_i = \frac{U_{R2}}{I_{R2}} = \frac{7,92}{0,024} = 330 \, \Omega$$

Je vidět, že hodnota se shoduje s hodnotou rezistoru R2. Dále je již možné vypočítat časovou konstantu vzniklého RC členu a také dobu potřebnou k ustálení přechodového děje (maximální odchylka napětí na kondenzátoru je 5% od napětí připojeného na RC člen), jenž je možné vypočítat jako trojnásobek časové konstanty.

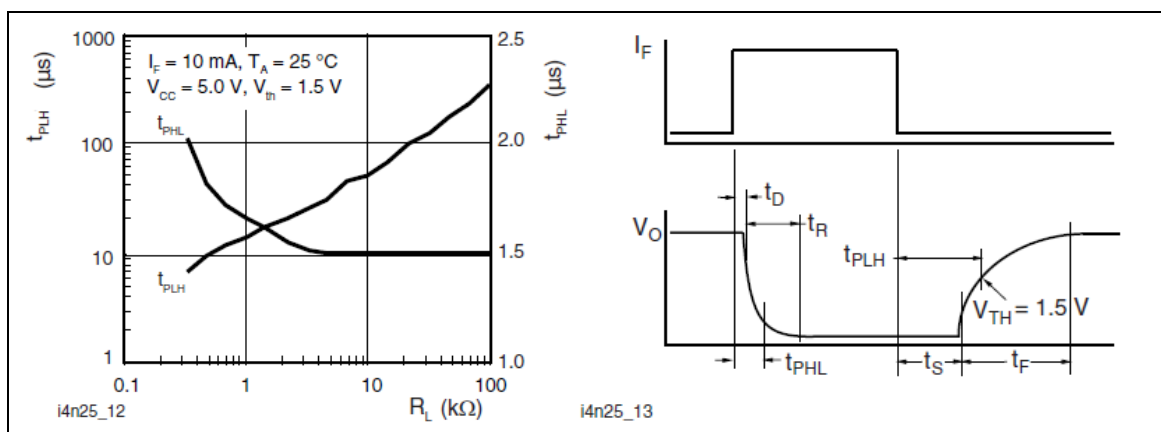
$$t_{ust(IRL2203N)} = 3 \cdot \tau = 3 \cdot R_2 \cdot C_{Q3} = 3 \cdot 330 \cdot 3,29 \cdot 10^{-9} = \underline{\underline{3,26 \, \mu s}}$$

Pro vybíjení parazitní kapacity se změní situace tak, že se uzavře fototranzistor optočlenu a napětí na kapacitě se začne vybíjet do odporu R2. Jelikož má tento odpor hodnotu 330 Ω , bude se doba vybíjení rovnat době nabíjení této kapacity.

Pro horní tranzistory typu IRF9540 je situace obdobná, s tím rozdílem, že mají rozdílnou parazitní kapacitu hradla a doba ustálení se tedy vypočte:

$$t_{ust(IRF9540)} = 3 \cdot \tau = 3 \cdot R_3 \cdot C_{Q2} = 3 \cdot 330 \cdot 1,4 \cdot 10^{-9} = \underline{\underline{1,39 \, \mu s}}$$

Na závěr, je třeba ještě odvodit zpoždění, jenž do celého procesu zanesou optopřevodníky. Z jejich technické specifikace bylo zjištěno, že jejich zpoždění závisí hlavně na odporu ve spínané cestě. V případě použitého zapojení je tento odpor roven 550 Ω . Charakteristika závislosti zpoždění je zobrazena na obrázku (Obr.5.6). Tato charakteristika je sice určená pro obvod 4N25, výrobce ve specifikaci však neuvádí žádné rozdíly mezi tímto a použitým optopřevodníkem 4N26.



Obr.5.6: Charakteristika závislosti zpoždění fototranzistoru na odporu v spínané cestě.[18]

Z charakteristiky je velice dobře patrné, že zpoždění na sepnutí vnitřního fototranzistoru (t_{PLH}) má při odporu 550Ω hodnotu asi $10 \mu s$ a zpoždění na vypnutí tohoto tranzistoru (t_{PHL}) je asi $2 \mu s$.

Při odvozování budoucí použité frekvence PWM modulace je nutné vycházet z doby trvání kladného pulzu při nastavení střidy o velikosti 1%. Doba trvání tohoto pulsu byla kvůli vypočteným zpožděním stanovena na $80 \mu s$ (tak by mělo být eliminováno zpoždění výkonových tranzistorů způsobené parazitní kapacitou a zpoždění optočlenu). Výsledná perioda modulovaného signálu je tedy $8 ms$ což odpovídá frekvenci $125 Hz$.

5.3.7 Budiče motorů – Napojení inkrementálních čidel

Z toho důvodu, že je pro napájení snímačů otáček použito napětí $+12V$ a $-5V$ bylo zavedeno galvanické oddělení systému inkrementálního čidla od systému driveru motorů. Galvanické oddělení pomocí obvodů 4N26 zajišťuje také v podstatě přizpůsobení napěťových úrovní mezi výstupy inkrementálních čidel a vstupy mikrokontroléru ATmega8.

5.4 Zapojení a oživení zdrojů

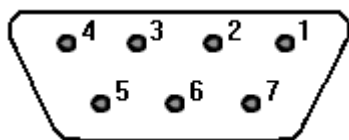
K sestavení zdrojové části byly použity originální zdroje dodané k frézovací jednotce. Zdrojová část systému sestává z jednotky centrálního zapínání, dvou stabilizovaných zdrojů schopných dodávat $27V$ (jejich maximální proudová zatížitelnost je pak $13 A$, typové označení DC 327C) a zdroje schopného dodávat napětí $5V$ (typové označení DC 105C) a $12V$ (typové označení DC 112C). Poslední jmenovaný byl zapojen jako souměrný zdroj tak, aby celému systému poskytoval napájecí napětí o velikosti $+12V$ a $-5V$. Toho bylo dosaženo propojením výstupu GND (zdroje $12V$) s výstupem $+5V$ druhého zdroje. Výkonové zdroje schopné dodávat napětí $27V$ mají maximální výkonovou zatížitelnost danou následujícím výpočtem:

$$P_{MAX} = U \cdot I_{MAX} = 27 \cdot 13 = \underline{\underline{351 W}}$$

Z výpočtu je patrné, že jeden tento zdroj může napájet maximálně dva motory typu HSM 150. Při testování zdrojů a motorů bylo zjištěno, že jsou tyto zdroje velmi citlivé na vysoký špičkový odběr motorů při jejich rozběhu. V každém případě zafungovala vnitřní ochrana proti zkratu a zdroj vypnula. Proto bylo nutné výstup zdroje doplnit o kondenzátor o kapacitě 4700 μF dimenzovaný na napětí minimálně 35V. Tyto kondenzátory dodávají motoru potřebnou energii při jeho rozběhu a eliminují tak vysoký špičkový odběr a vypínání zdroje.

5.5 Zapojení a oživení inkrementálních senzorů

Na obrázku (Obr.5.7) je uvedeno rozložení pinů výstupního konektoru inkrementálního čidla otáček.

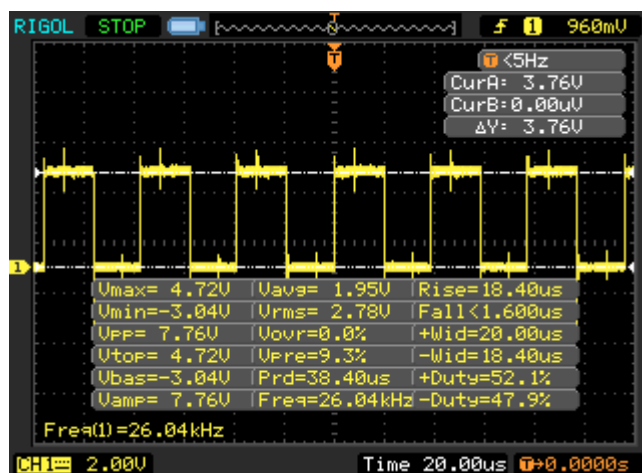


- 1) GND
- 2) Nezapojen
- 3) Nezapojen
- 4) -5V (napájení)
- 5) 12V (napájení)
- 6) Výstup A
- 7) Výstup B

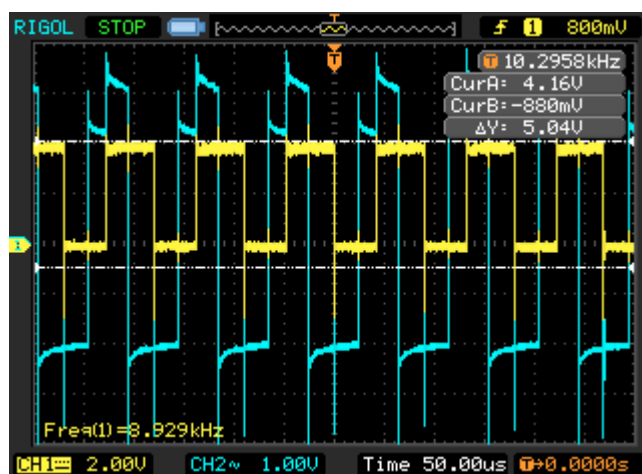
Obr.5.7: Rozložení pinů konektoru inkrementálního čidla (strana spojů)

Zapojení konektoru bylo zjištěno z původní dokumentace uvedené v kapitole „Přílohy“. Z toho důvodu, že je na straně s rozmístěním součástek popsán pouze 1. pin bylo nutné snímač rozebrat a zjistit zapojení pinů přímo z vyrobené DPS. Demontáž snímače byla velice výhodná, protože bylo možné zjistit nejen, které piny konektoru jsou zapojeny a které ne, ale také čísla daných pinů a zkontrolovat celkový stav zařízení. Až na zastaralejší technologii výroby DPS byl snímač v technicky naprosto bezchybném stavu. Uprostřed snímače nebyl prach ani nečistoty. Snímací kotouče s průzory, které okem téměř nejsou viditelné, naprosto podtrhly velmi kladný dojem z celkové kvality zpracování daného snímače.

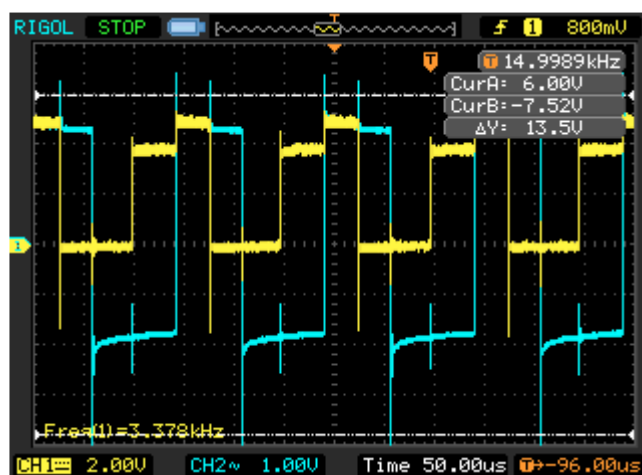
Po zjištění rozložení pinů, byly na napájecí linky připojeny laboratorní zdroje a na datové linky připojeny kanály CH1 a CH2 digitálního osciloskopu RIGOL DS1102E. Poté bylo manuálně posunuto s celým obráběcím portálem. Průběhy generované inkrementálním senzorem jsou patrné z obrázků (Obr.5.8 - Obr.5.9). V prvním případě byl proměřován pouze datový výstup A (viz. Vnitřní schéma snímače uvedené v přílohách). Z vyobrazeného průběhu bylo zjištěno, že rozkmit výstupního signálu je 3,76V a že při poměrně rychlém posunutí obráběcího portálu perioda výstupního signálu ze senzoru trvala 38,4 μs .



Obr.5.8: Měření na výstupu A



Obr.5.9: Měření na obou výstupech pro první směr posuvu



Obr.5.10: Měření na obou výstupech pro druhý směr posuvu

Ze získaných průběhů je dobře patrné, jak snímače reagují na změnu směru pohybu. Při pohybu v záporném smyslu osy Y signál generovaný na výstupu B inkrementálního senzoru o čtvrtinu periody předbíhal signál generovaný na výstupu A. Naopak po změně směru pojezdu se celá situace obrátila a daný signál se začal o čtvrt periody opožďovat. Z průběhů je patrné, že délka periody obou signálů se vždy shodovala. Modrý signál generovaný výstupem B byl zobrazován z dvojnásobnou citlivostí (1V/dílek), kvůli lepšímu zobrazení nelinearity jeho průběhu.

Problémy ve zpracování výstupních signálů senzoru by mohly působit poměrně velké napěťové špičky generované hlavně výstupem B. Z podobných důvodů byla na vstupu desky budiče motoru, na níž jsou signály přivedeny, použita ochrana v podobě galvanického oddělení. Toto zajišťují použité optopřevodníky 4N26. Mimo to, že dochází k linearizaci výstupního průběhu, ochraně proti napěťovým rázům obstarávají dané optopřevodníky také napěťové přizpůsobení obvodů.

Další měření na použitých snímačích bylo provedeno a je popsáno ve fázi testování. Při těchto testech se na posuvu již podílely servomotory HSM 150 řízené PWM modulací.

5.6 Popis řešení řídicích programů pro mikrokontroléry

Tato kapitola se zabývá popisem fáze programování. Budou zde rozebrány jak prostředky použité v této fázi práce, tak i vyvinuté algoritmy a programy potřebné pro bezchybnou práci celého systému. Dále bude vysvětlen princip a funkce komunikace mezi počítačem a hlavní deskou a komunikace mezi hlavní deskou a deskami budičů motorů.

5.6.1 Popis prostředků použitých ve fázi programování

Oba níže popsané programy byly vyvinuty v jazyce C v prostředí AVR Studio verze 4.12. AVR Studio je možné využít k vytvoření projektů, jenž v sobě sdružují jednotlivé části jako zdrojové kódy, informace o vyvinutém projektu, soubory s textem nebo také použité knihovny apod. Popsaná vlastnost je velice dobře použitelná obzvlášť při vytváření složitějších projektů. Během fáze ladění napsaného kódu je v pracovním okně možné pozorovat stav vnitřních registrů použitého mikrokontroléru a jeho periférií. Kromě vývoje programů, jejich kompilace a ladění je také pomocí AVR studia možné provést samotné programování mikrokontroléru pomocí systémů JTAGGICE, ICE50, STK500/5001 a AVRISP.

Pro nahrání vytvořeného řídicího programu do paměti mikrokontroléru byl použit programátor USBtinyISP. Jak již napovídá jeho název, programátor je napojitelný na USB port osobního počítače a programování je prováděno pomocí ISP rozhraní. Schéma programátoru bylo s menšími změnami převzato z oficiálních stránek viz. seznam použité literatury odkaz č.18. Deska plošných spojů programátoru byla navržena a osazena s SMD součástkami, kvůli položenému požadavku na co nejmenší rozměry. Poměrně velká výhoda programátoru je v tom, že pro své napájení používá napětí přímo z USB portu počítače, a proto není při programování mikrokontroléru nutné používat žádných externích zdrojů napětí. Je však třeba nutně brát ohledy na maximální proudovou zatížitelnost USB portu. K zápisu dat do programovaného

mikrokontroléru programátor využívá souboru v .HEX formátu. Soubor tohoto typu generuje právě AVR Studio.

5.6.2 Popis funkce programu hlavní desky

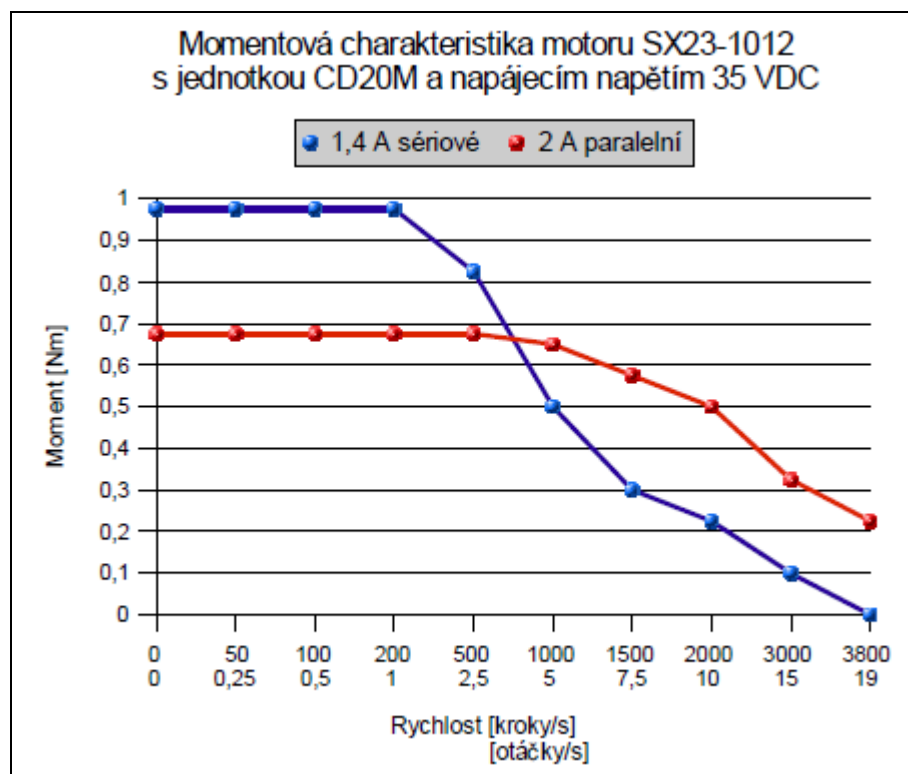
Do řídicího programu pro mikrokontrolér ATmega16 byl naprogramován soubor algoritmů vykonávající čtení hodnot na výstupech LPT portu počítače. Tyto hodnoty udávající krokování a směr pohybu motoru jsou přivedeny na port C a část portu D použitého mikrokontroléru. Při programování bylo vhodně využito toho, že krokovací linky jsou napojeny na vstupy externího přerušení INT0 a INT1 (piny č. 11 a 12).

Celý program byl vložen do příloh na doprovodném CD. Na jeho začátku je uvedena deklarace použitých standardních knihoven a také proměnných použitých dále v programu. Dále jsou zde zavedeny dvě funkce pro odesílání dat po lince UART a to funkce sendByte(data) a funkce sendUSART(data). Obě tyto funkce jsou beznávratové funkce typu VOID. To znamená, že nemají žádný výstupní parametr předávaný při jejich ukončování. První funkce pracuje s lokální proměnnou data o velikosti 8 bitů. Nejprve je v této funkci vložena čekací smyčka, která pozastavuje funkci programu do doby než bude vyprázdněn vysílací registr jednotky UART. Poté dochází k odeslání dat uložením proměnné jménem data do registru UDR. Druhá výše jmenovaná funkce sendUSART(data) pracuje s lokální proměnnou data o velikosti 16 bitů. Opět je zde jako první provedena výše popsaná čekací smyčka, poté je pomocí uložení informace do registru UDR odeslán horní bajt čísla pomocí funkce rotace. Dále je opět provedena čekací smyčka a nakonec dochází k odeslání dolního bajtu čísla.

Po deklaraci dvou funkcí pro odesílání dat je již v programu zavedena funkce main() (dále označována jako hlavní funkce). Tato funkce je bez vstupního parametru. Na jejím začátku je provedena základní inicializace portů mikrokontroléru. Na příslušných výstupech jsou pomocí registrů DDRx připojeny zápisem log.1 vnitřní pull-up rezistory. Tyto rezistory zvyšují maximální výstupní proud jednotlivých pinů portů mikrokontroléru na hodnotu až 40 mA. Dále jsou pomocí registrů PORTx určeny počáteční stavy všech pinů použitých portů. Další následující blok hlavní funkce řeší inicializaci externího přerušení (INT0 a INT1) na tyto přerušovací vstupy byly přivedeny krokovací signály z LPT portu. Toto řešení je velice výhodné, z důvodu možnosti jak použití přerušovacího systému mikrokontroléru, tak i nastavení externího přerušení na citlivost na náběžnou hranu vstupního signálu. Při přechodu signálu na těchto vstupech z log.0 na log.1 je poté vyvoláno přerušení s definovaným vektorem a následně je vyvolána obslužná rutina právě tohoto přerušení. V této rutině SIGNAL (INT0_vect) je pouze inkrementována hodnota proměnné takt_x. Podobně je tomu i u přerušení od kanálu INT1, zde je inkrementována hodnota proměnné takt_y. Popsané proměnné jsou v obou rutinách zhora omezeny pomocí funkce if na hodnotu 999.

Pokud vezmeme v úvahu krokové motory MICROCON SX23-1012 (motory použité na frézovací jednotce s krokovými motory pro něž je již nastaven frézovací software STEP-FOUR V4) jenž mají 200 kroků na otáčku (1,8° krok) je jasné, že za 100 ms (perioda čítače/časovače0 s jakou budou proměnné takt_x a takt_y čteny, jejich hodnota bude odeslána a následně resetována viz. dále) nemohou uvedené proměnné nabýt vyšší hodnoty než 999

(z grafu maximálně 380). Jeho maximální použitelné otáčky jsou dány momentovou charakteristikou uvedenou na obrázku (Obr.5.11).



Obr.5.11: Momentová charakteristika motoru SX23-1012 [17]

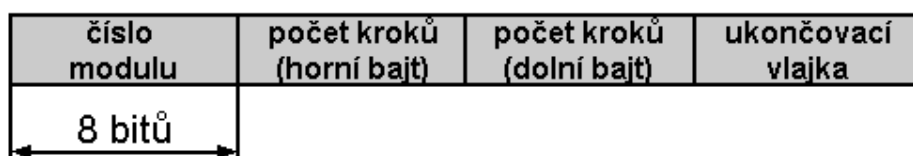
Pokud se do této hodnoty dostanou, je třeba vyhodnotit chybu v obslužné rutině pro časovač 0, která by s nimi měla pracovat a také je nulovat. Nyní je však potřeba vrátit se k hlavní funkci. Další blok kódu (po bloku nastavení externího přerušení) je blok nastavení jednotky UART. Jednotlivé příkazy jsou vhodně komentovány přímo ve zdrojovém kódu, a proto je zde není potřeba zdlouhavě popisovat. Následující blok kódu již jen řeší nastavení čítače/časovače 1 a dále je už jen příkazem sei() povolena globální maska přerušení. Celý program přechází do nekonečné smyčky vytvořené metodou for(;;). Z této smyčky se řídicí program může dostat ve čtyřech případech. A to při přerušení od časovače č.1, externím přerušením od INT0 a INT1 nebo při odesílání dat po jednotce UART.

V obslužné rutině pro přerušení od čítače/časovače 0 je poté zakomponován algoritmus pro vyhodnocení signálů z LPT portu a signálů z taktovacích linek a odesílání dat do desek budičů motorů. Hřídel motoru může rotovat dvěma směry, a proto bylo při přenosu třeba rozlišit v odesílaných datech směr pro rotaci motoru doprava nebo doleva. Proto pro první směr pohybu je odesílán počet načítaných pulsů na krokovací lince (tedy číslo 0-999, data uložena v proměnné takt_x nebo takt_y). Pro druhý směr je poté toto číslo navýšeno o 1000 a odesílaná čísla mohou tedy nabývat hodnot 1000-1999. Tímto způsobem byl při odesílání vyřešen problém s rozlišením směru rotace motorů. Na straně příjmu je poté pomocí metody if

jednoduché vyhodnotit, kterým směrem má motor rotovat. Funkce tohoto bloku programu je velmi dobře pochopitelná při pohledu na vhodně komentovaný zdrojový kód.

5.6.3 Popis funkce programu desky budiče motoru

Program určený k řízení této desky byl napsán a nahrán do použitého mikrokontroléru ATmega8. Tento program má za úkol přijímat data z hlavní desky pomocí rozhraní UART. Rozložení datového rámce je vidět na obrázku (Obr.5.12).



Obr.5.12: Rozložení datového rámce přenosu mezi deskami

Z obrázku je patrný význam jednotlivých odesílaných bajtů. Nejprve je odesíláno číslo modulu. Toto číslo reprezentuje vlastně cílového příjemce daného přenosu. Každá z vyrobených desek budičů motorů byla při programování očíslována pomocí první deklarované proměnné s názvem modul. Tato proměnná již není dále v programu přepisována a obsahuje právě číslo desky. Další 2 bajty obsahují informaci o počtu kroků, o které mají být motory posunuty. A celý přenos je ukončen odesláním ukončovací vlajky tedy odesláním čísla 13. Po přijetí informace o počtu kroků, které je nutné ujet je nastaven PWM signál pro motory a je proveden posun o příslušnou vzdálenost hlídanou zpětnovazebně pomocí optických inkrementálních kvadrturních senzorů. Hodnota střidy PWM modulace udávající rychlost motoru je volena s ohledem na vzdálenost o jakou se je zapotřebí za 100 ms s portálem posunout.

Právě kvůli správnému nastavení střidy PWM modulace bylo provedeno testovací měření, kdy byly nastavovány vždy po 100 ms různé střidy PWM modulace výstupního signálu pro motory a byla měřena uražená vzdálenost. Po uplynutí 100 ms byl motor uveden do stavu elektrického brždění. Poté byla stejná situace provedena ještě jednou, ale trvala 200 ms. Po odečtení uražených délek bylo možné zjistit jakou vzdálenost motor na nastavenou střidu ujede.

Odečtením bylo eliminováno zpoždění při rozjezdu motoru. Toto zpoždění bylo následným odečtením obou hodnot také vypočteno. Podrobněji je toto měření popsáno v kapitole č.6 (Ověření funkce a testování).

Na vstupy INT0 a INT1 byly dle schématu připojeny signály z inkrementálních čidel. Proto byly v programu zavedeny obslužné rutiny externího přerušení od kanálů INT0 a INT1 a byla nastavena citlivost tohoto přerušení na náběžnou hranu signálu.

Zdrojový kód byl vložen do příloh na doprovodné CD. Na prvním místě byly nadefinovány použité knihovny, poté deklarovány používané globální proměnné. Jako první deklarovaná metoda se v programu nachází metoda sendUSART(data) . Tato metoda byla popsána v minulé podkapitole, v tomto programu zatím není využita, ale byla zde přidána pokud by bylo třeba v budoucnu zasílat data zpět do mikrokontroléru Hlavní desky. Další deklarovanou metodou je

metoda `USARTHandle()`. Tato metoda je typu `VOID` a také nemá žádný vstupní parametr, jelikož pracuje výhradně s globálními proměnnými. Popsaná metoda je volána z obslužné rutiny pro přerušení od kanálu UART a je používána k vyhodnocení dat (rozložení přijatého datového rámce na jednotlivá čísla) uložených v poli buffer typu `uint8_t`. Metoda kontroluje správnost přenosu (byly přijaty pouze 4) bajty a také kontroluje zda první bajt obsahuje správné identifikační číslo (proměnná `modul` – viz. začátek podkapitoly) a poslední bajt obsahuje ukončovací vlajku (číslo 13). Poté daná metoda vypočítává (z přijmuté informace o vzdálenosti kterou je nutné ujet) střídu PWM modulace, jenž bude nastavena motorům. Opět zde byl použit stejný princip rozlišení směru jako u přenosu po UART. První směr může nabývat hodnot střídy 0-999 a druhý směr hodnot 1000-1999. Z toho je patrné, že střídu PWM modulace je možno nastavovat s přesností na desetiny procenta.

Další následující metoda je metoda `main()`. Na začátku této metody je provedena inicializace portů mikrokontroléru, a také inicializace pull-up rezistorů (viz předcházející kapitola). Dále je nastavena jednotka UART a externí přerušení. Opět je příkazem `sei()` povolena globální maska přerušení a program přechází do nekonečné smyčky `for(;;)`. Tato smyčka již pouze řeší spouštění motorů a také kontrolu jejich pohybu pomocí signálů z kvadrturních inkrementálních senzorů.

6 Ověření funkce a testování

Tato kapitola se zabývá finálním testováním vyrobené řídicí elektroniky určené pro jednotku laserového obrábění s DC motory. Některé části, které by mohly být zařazeny do této kapitoly byly popsány již dříve např. oživení inkrementálních čidel.

6.1 Měření rozlišovací schopnosti inkrementálních čidel

Pro toto měření byl napsán speciální program a byla použita pouze deska budiče motoru. Bylo si zde také docela dobře možné ověřit správnou funkci inkrementálních čidel, galvanického oddělení i napojení na mikrokontrolér.

Program pro mikrokontrolér byl napsán tak, že mikrokontrolér reagoval na náběžné hrany signálu z výstupu A inkrementálního čidla. Program čítal tyto náběžné hrany a po odměření 1000 pulsů byla zhasnuta indikační LED umístěná na DPS budiče motoru. Poté byla změřena dráha, jenž obráběcí portál urazil. Výsledky měření byly vyneseny do následující tabulky:

Měření č.	d (mm)
1	20,3
2	20,3
3	20,2
4	20,3
5	20,4
6	20,3
7	20,3
8	20,3
9	20,2
10	20,3
Průměrná h.	20,29

Tab.5: Naměřené vzdálenosti dosažené po 1000 impulsech IS

Pro snížení chyby vzniklé při měření bylo toto měření opakováno desetkrát a nakonec byl ze všech naměřených hodnot vypočten aritmetický průměr. Následně je již jen jednoduchým výpočtem získána základní rozlišovací schopnost inkrementálního senzoru.

$$R = \frac{\Delta d}{1000} = \frac{202,9}{1000} = \underline{\underline{0,203 \text{ mm / krok}}}$$

Jak bylo zmíněno v teoretickém rozboru, je možné pomocí vhodné metody (čítání náběžných a sestupných hran obou výstupních signálů) získat až čtyřnásobnou rozlišovací schopnost. Vzdálenost ujetou motory by poté bylo možné odměřovat s přesností na 0,05 mm.

6.2 Měření vlivu velikosti střidy PWM modulace na uraženou vzdálenost

Popisované měření bylo provedeno hlavně z důvodu potřeby otestovat funkčnost vyvinutého programu pro nastavování střidy PWM modulace, komunikaci mezi procesory po sběrnici typu UART a výkonových můstků umístěných na deskách budičů motorů. Další výhodou provedeného měření byla v tom, že si bylo možné všimnout negativních vlastností frézovací jednotky po mechanické stránce.

Pro toto měření byla použita deska budiče motoru a hlavní deska. Pro obě desky byly speciálně upraveny programy popsané v kapitole č. 5 (Technické a realizační řešení). Deska budiče motoru měla za úkol pouze přijímat informace o střídě PWM modulace a tu poté nastavit na výstupech výkonového H-můstku. Hlavní deska pracovala s tlačítkem. Po jeho stisknutí bylo po sběrnici UART vysláno číslo 50 (což odpovídá střídě o velikosti 5,0%). Poté program přešel do čekací smyčky a po 100 ms odeslal po sběrnici číslo 0 a tím byly motory zastaveny. Při dalším stisknutí tlačítka došlo opět k odeslání čísla 50, avšak motory byly v provozu po dobu 200 ms. V obou fázích byla změřená vzdálenost, jenž obráběcí portál urazil. Při dalším stisknutí tlačítka na hlavní desce se situace opakovala s tím rozdílem, že se odesílané číslo o 50 zvětšilo a byla v podstatě nastavována střída o velikosti 10%. Po skončení měření bylo vše provedeno i pro druhý směr pohybu motoru. Výsledky měření byly uspořádány do tabulky (Tab.6). Poslední část tabulky je rozdíl drah ujetých za dobu 200 ms a 100 ms. Tímto byly eliminovány vlivy rozjezdů a brždění motoru na výslednou hodnotu a byla získána dráha, jež je motor schopný urazit při nastavené hodnotě PWM za dobu 100 ms.

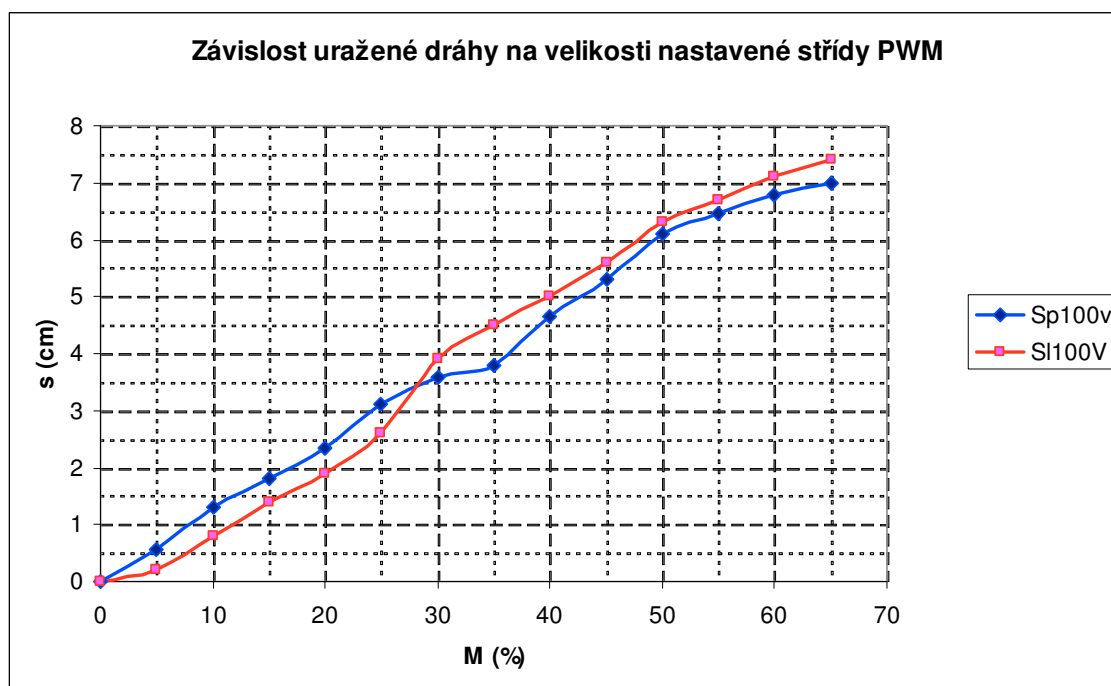
M(%)	T=100ms		T=200ms		Vypočteno	
	S _{p100} (cm)	S _{i100} (cm)	S _{p200} (cm)	S _{i200} (cm)	S _{p100v} (cm)	S _{i100v} (cm)
0	0	0	0	0	0	0
5	0,6	0,4	1,15	0,6	0,55	0,2
10	0,9	0,7	2,2	1,5	1,3	0,8
15	1,3	1	3,1	2,4	1,8	1,4
20	1,5	1,5	3,85	3,4	2,35	1,9
25	1,7	1,7	4,8	4,3	3,1	2,6
30	1,9	2	5,5	5,9	3,6	3,9
35	2,2	2,2	6	6,7	3,8	4,5
40	2,45	2,55	7,1	7,55	4,65	5
45	2,6	2,7	7,9	8,3	5,3	5,6
50	2,7	2,9	8,8	9,2	6,1	6,3
55	2,9	3,2	9,35	9,9	6,45	6,7
60	3,4	3,4	10,2	10,5	6,8	7,1
65	3,6	3,6	10,6	11	7	7,4

Tab.6: Naměřené hodnoty uražených vzdáleností pro různé střidy PWM modulace

Vysvětlivky:

- S_{p100} – Dráha uražená při pohybu směrem vpravo po dobu 100 ms
- S_{i100} – Dráha uražená při pohybu směrem vlevo po dobu 100 ms
- S_{p200} – Dráha uražená při pohybu směrem vpravo po dobu 200 ms

- S_{I200} – Dráha uražená při pohybu směrem vlevo po dobu 200 ms
 S_{p100v} – Rozdíl S_{p200} a S_{p100}
 S_{I100v} – Rozdíl S_{I200} a S_{I100}



Obr.5.12: Graf zobrazující výsledky měření ujeté dráhy za 100 ms

Vypočtené hodnoty z posledních sloupců byly poté vyneseny do grafu na obrázku (Obr.5.12). Z grafu je patrné, že závislost uražené dráhy na velikosti nastavené střídavy PWM modulační je téměř lineární. Menší odchylky a nepřesnosti mohly vzniknout použitou metodou odměřování uražené vzdálenosti nebo také nečistotami v převodovce motoru a na styku ozubeného kola výstupní hřídele s ozubeným hřebínkem. Z grafu je dále patrné, že při nižších hodnotách střídavy motor vždy ujel delší vzdálenost směrem vpravo a od hodnoty zhruba 27% se situace obrátila a od této hodnoty vždy ujel delší vzdálenost směrem vlevo.

6.3 Ověření ujetí dané vzdálenosti pracovního portálu

Poslední měření bylo provedeno opět na desce budiče motoru i hlavní desce. Při tomto testování byla ověřována hlavně schopnost celého systému přesně ujet danou vzdálenost na pevně nastavenou střídavu PWM modulační.

Opět byly programy pro oba mikrokontroléry upraveny. Hlavní deska po stisku tlačítka odeslala desce budiče motoru požadovanou vzdálenost, která má být uražena. Vzdálenost byla reprezentována počtem požadovaných impulsů (čítány náběžné hrany výstupu A) inkrementálních kvadrurních senzorů. Na jeden impuls připadá uražená dráha 0,203 mm. Na požadovaných 10 cm dráhy bylo poté třeba načítat 493 impulsů. Po uražení této dráhy deska

budiče motoru změnila svůj režim a zapnula brždění sepnutím obou spodních tranzistorů IRL2203N v H-můstku. Tím byly zkratovány svorky motoru a motor byl převeden do režimu brždění. Díky tomu, že byla střída nastavena na hodnotu pouze 5%, neměl motor velkou brzdnou dráhu a zastavil se téměř okamžitě. Nevznikaly zde tedy nepřesnosti vlivem dlouhého brždění. Díky připojeným inkrementálním sensorům a zpětnovazebnímu typu řízení portál ujel vždy přesně 10 cm a zastavil se.

7 Závěr

V této bakalářské práci jsem se zabýval oživením frézy s krokovými motory a funkčním návrhem zapojení řídicí elektroniky pro 3D stůl laserového obrábění. Pokud bych měl shrnout dosaženou práci na frézovací jednotce s krokovými motory, tak zde musím uvést, že se mi podařilo nastavit řídicí program StepFour V4 tak, aby byl schopný přesně ovládat pohyb obráběcího vřetene. Nastudoval jsem způsob, jak získat potřebná data z programu Eagle určeného k návrhu schémat zapojení a desek plošných spojů. Data poté otevřít v programu StepFour pomocí něj a frézovací jednotky vyrobit desku plošného spoje (frézováním a vrtáním). Pokud bych měl zhodnotit mechanickou stránku frézy, musím zde vytknout nepřesně uloženou pracovní desku. Tato bohužel není upevněná přesně vodorovně, a tak má na jejím začátku fréza větší hloubku záběru než na konci. Další velkou slabinou mechanické konstrukce frézy jsou hlavně spojky přenášející kroutící moment motoru na šrouby převádějící točivý moment na posuvný pohyb obráběcího portálu. Spojky se po jisté době samy uvolňují a ve frézovaném obraze vznikají chyby. Dalším nutným vylepšením by měla být výměna použitých krokových motorů za výkonnější typy. Motory jsou sice schopné správné funkce bez ztráty kroků, ale až po bipolárním zapojení, kdy odebírají větší množství energie a mají tendenci se přehřívat. Po výměně motorů, spojek a vyrovnání pracovní desky je však fréza velmi obstojně schopná odvést svoji práci a dobře v laboratoři posloužit.

Pro jednotku 3D laserového obrábění využívající k posuvu stejnosměrných motorů se mi poté podařilo vyvinout řídicí systém na bázi mikrokontrolerů ATmega8 a ATmega16. Bohužel kvůli několika vzniklým chybám se mi práci na této jednotce nepodařilo dovést do naprosto funkčního stavu. První poměrně velmi závažná závada se nachází v použitých původních zdrojích dodaných spolu s obráběcí jednotkou. Tyto se zdály být po zapojení a proměření naprosto funkční. Na zdrojích jsem se delší dobu snažil oživit mnou vyrobené desky. Po připojení na motory HSM 150 se vždy choval celý systém nestabilně nebo pracoval nesprávně. Nejprve jsem hledal chybu v zapojení a programovém vybavení mikrokontrolerů. Po rozsáhlých úpravách zapojení a vyrobení nových desek plošných spojů systém opět nefungoval. Respektive fungoval, ale pouze po připojení méně výkonného typu motoru nebo žárovky (ta nemá stejně indukční charakter zátěže jako motory). Proto jsem začal pátrat po závadě i jinde a po použití výkonného laboratorního zdroje fungoval celý systém bezchybně. Bohužel tato triviální závada, jejíž odhalení mně stálo poměrně velké množství času a úsilí, se projevila na tom, že jsem nestihnul odstranit druhou závažnou chybu. Tato chyba se nachází někde v řídicím programu hlavní desky nebo vstupní části vytvořené hlavní desky. Systém totiž po připojení do LPT portu není možné pomocí počítače zcela ovládat a funguje jen částečně. S největší pravděpodobností bude chyba v jednom z použitých integrovaných obvodů (které jsou typu CMOS) nebo špatně zapájených prokovech.

Ve fázi testování jsem si také uvědomil, že mnou navrženy princip nastavování střídavy PWM modulace a odměřování uražených kroků každých 100 ms (popsáno v kapitole 5.6.2 Popis funkce programu Hlavní desky a 5.6.3 Popis funkce programu Desky budiče motoru) také není úplně korektní. Systém by sice byl schopen funkce, ale pracoval by nepřesně, a to hlavně z toho

důvodu, že po nastavení shodné střidy PWM modulace po stejnou dobu není motor schopný urazit na obě strany stejnou vzdálenost. Nejvhodnější by asi bylo zakomponovat do řídicího algoritmu obou desek virtuální souřadnicový systém se zápisem aktuální pozice obráběcího nástroje do EEPROM paměti mikrokontroléru a dále řízení motorů provádět na základě algoritmů pro PID (PSD) regulaci. Na druhé straně jsem však rád, že se popsané chyby vyskytly hlavně z toho důvodu, že abych je byl schopen vyřešit, byl jsem donucen proniknout poměrně hluboko do dané problematiky. Jejich řešením jsem se naučil velké množství nových věcí, od návrhu výkonové elektroniky, přes používání moderních měřících přístrojů, až po zdokonalení se v programování jazyku C. V konečném důsledku se mi také podařilo zprovoznit téměř všechny části vyrobených desek, kromě příjmu signálu z LPT portu. Po jeho zprovoznění, napsání a odladění sofistikovanějšího řídicího programu hlavní desky by se měl stát celý vyrobený systém funkčním.

Možné vylepšení celého systému by mohlo spočívat v doplnění o inteligentní teplotní čidla DS18B20, umožňující měření teplot v rozsahu -20 až 120 °C. Čidla by mohla mít za úkol snímat teplotu motorů, zajišťující pohyb obráběcího nástroje, chladičů výkonových částí zdroje nebo H-můstků ovládajících motory. Další užitečná vylepšení by mohla spočívat v naprogramování jednotky UART tak, aby pracovala jako multi-master sběrnice a libovolný z mikrokontrolérů by mohl komunikovat s libovolným dalším. Systém by také mohl být doplněn o operátorský panel tvořený pěti tlačítky. První čtyři by zde byla pro ovládání směru pojezdu obráběcího nástroje a poslední tlačítko by obstarávalo zapínání a vypínání průmyslového laseru. Na panelu by se také mohlo vyskytovat několik signalizačních LED diod informujících obsluhu o aktuálním stavu zařízení.

Opravdu elegantní řešení by mohlo spočívat v doplnění hlavní desky o další mikrokontrolér typu ATmega8 komunikující se stávajícím mikrokontrolérem po sběrnici UART. Tento přidaný mikrokontrolér by mohl komunikovat s osobním počítačem pomocí sběrnice USB. Pro mikrokontroléry AVR totiž byla vyvinuta programová implementace USB rozhraní pod názvem V-USB (Virtual USB). Poté by již stačilo doplnit zapojení o několik pasivních součástek a konektor USB. Pro systém by poté mohl být vyvinut program schopný číst data ve formátu G-kód, nemluvě o širokých možnostech vizualizace třeba pomocí Microsoft Visual Studio a platformy .NET.

8 Literatura

- [1] ZEHNULA, K. [i]Čidla robotů.[/i] 1. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1990. 370 s. ISBN 80-03-00563-9.
- [2] CHVÁLA, B. - MATIČKA, R. - TALÁCKO, J. [i]Průmyslové roboty a manipulátory.[/i] 1. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1990. 275 s. ISBN 80-03-00361-X.
- [3] ŠTULPA, M. [i]CNC obráběcí stroje a jejich programování.[/i] 1. vyd. Praha: BEN-technická literatura, 2006. 126 s. ISBN 80-7300-207-8.
- [4] Datasheet IRF9540 [online] .revision 5.5.2011 [citováno dne 28.4.2011]
<http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/213/213-057/dsh.213-057.1.pdf>
- [5] Kamil Řezáč. Krokové motory[online]. 2002.revision 15.11.2010 [citováno dne 15.11.2010] <<http://robotika.cz/articles/steppers/cs> >
- [6] Pavel Rydlo.Krokové motory a jejich řízení[online]2000.revision 15.11.2010 [citováno dne 15.11.2010] <<http://www.mti.tul.cz/files/ats/krok2.pdf>> (nepoužito)
- [7] Datasheet motoru HSM 150 [online].revision 15.11.2010 [citováno dne 15.11.2010]
<http://www.regulace.cz/DOWNLOADS/PDF/kl_hsm_150.pdf>
- [8] Elektromotor[online] .revision 15.11.2010 [citováno dne 15.11.2010]
<<http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromotor>>
- [9] Martin Locker. Řízení stejnosměrného motoru [online] .revision 15.11.2010 [citováno dne 15.11.2010] < http://www.eurobot.cz/Workshop2006/Rizeni_stejnosmerneho_motoru.ppt>
- [10] Rotační inkrementální čidla polohy[online] .revision 15.11.2010 [citováno dne 15.11.2010] < http://dce.felk.cvut.cz/zri/podklady/Inkrement_snimac.pdf>
- [11] HW server představuje: Paralelní port – LPT (IEEE 1284)[online] .revision 3.1.2011 [citováno dne 3.1.2011] <<http://hw.cz/lpt>>
- [12] PIN-Belegung (Zapojení pinů LPT portu)[online] .revision 3.1.2011 [citováno dne 3.1.2011] < <http://www.step-four.at/hp2/download/sonstiges/Fremdanlagen-Dongle%20PIN-Belegung.pdf>>
- [13] Průmyslové aplikace laserových systémů [online] .revision 3.1.2011 [citováno dne 19.1.2011] < <http://www.plslaser.cz/pdf/prumysl.pdf>>
- [14] Excellon formát [online] .revision 6.3.2011 [citováno dne 6.3.2011]
< http://en.wikipedia.org/wiki/Excellon_Format>
- [15] HPGL [online] .revision 6.3.2011 [citováno dne 6.3.2011]
< <http://en.wikipedia.org/wiki/HPGL>>
- [16] Momentové charakteristiky řady SX16, SX17, SX23 [online] .revision 17.4.2011 [citováno dne 17.4.2011] < <http://www.microcon.cz/pdf2009/20-21.pdf> >
- [17] USBtinnyISP [online] .revision 5.5.2011 [citováno dne 28.4.2011]
<<http://www.ladyada.net/make/usbtinyisp>>
- [18] Datasheet 4N26 [online] .revision 5.5.2011 [citováno dne 28.4.2011]
<<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/vishay/83725.pdf>>
- [19] Datasheet IRF9540 [online] .revision 5.5.2011 [citováno dne 28.4.2011]
<http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/213/213-057/dsh.213-057.1.pdf>

9 Seznam příloh

A) Schéma a motivy DPS Hlavní desky	I
B) Schéma a motivy DPS Hlavní desky	IV
C) Dokumentace inkrementálních senzorů	VII
D) Fotodokumentace práce	IX

Doprovodné CD:

Všechny vyvinuté programy

Kompletní fotodokumentace práce doplněná o videa

Návrh schémat a DPS v programu Eagle

Text práce